



Staatliches
Gewerbeaufsichtsamt
Hildesheim



Untersuchung der Stickstoffdioxidkonzentration im Umfeld der verkehrsnahen Probenahmestellen des LÜN in Hannover

Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm,
Gefahrstoffe und Störfallvorsorge – ZUS LLGS



Niedersachsen



Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung und Methodik	4
2. Eingesetzte Modelltechnik	4
2.1 Das prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM	4
2.2 Physikalische und numerische Grundlagen	4
2.3 Evaluierung des Modells MISKAM	5
2.4 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	5
2.5 Eingabegrößen des Modells	5
2.6 Validierung des Modells in Bezug auf die Berücksichtigung der Vegetation	6
3. Untersuchungsgebiete	7
3.1 Untersuchungsgebiet Friedrich-Ebert-Straße	7
3.1.1 Verkehrssituation in der Friedrich-Ebert-Straße	7
3.1.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Friedrich-Ebert-Straße	8
3.1.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Friedrich-Ebert-Straße	10
3.2 Untersuchungsgebiet Marienstraße	11
3.2.1 Verkehrssituation in der Marienstraße	11
3.2.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Marienstraße	12
3.2.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Marienstraße	14
3.3 Untersuchungsgebiet Bornumer Straße	15
3.3.1 Verkehrssituation in der Bornumer Straße	15
3.3.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Bornumer Straße	17
3.3.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Bornumer Straße	19
3.4 Untersuchungsgebiet Göttinger Straße	20
3.4.1 Verkehrssituation in der Göttinger Straße	20
3.4.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Göttinger Straße	22
3.4.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Göttinger Straße	24
4. Ausgangsdaten	26
4.1 Verkehrsemissionen	26
4.2 Gebäudedaten	27
4.3 Vegetationsdaten	27
4.3.1 Vegetationsbedeckungsgrad	27
4.3.2 Blattflächendichte	28
4.4 Meteorologie	30
4.5 Modellparameter	31
4.5.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung	31
4.5.2 Rauigkeitslänge	32
4.5.3 Modellierung der Emissionsquellen	32
4.5.4 Steuerparameter	32



5. Berechnungsszenarien und -ergebnisse	34
5.1 Methodik zur Ermittlung der Vor- und Gesamtbelastung	34
5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten des LÜN	35
5.3 Qualitative Darstellung der räumlichen Konzentrationsverteilung im Straßenraum	36
5.3.1 Konzentrationsverteilung in der Friedrich-Ebert-Straße	36
5.3.2 Konzentrationsverteilung in der Marienstraße	41
5.3.3 Konzentrationsverteilung in der Bornumer Straße	45
5.3.4 Konzentrationsverteilung in der Göttinger Straße	48
5.4 Quantitative Darstellung der Konzentrationsverteilung im Bereich der Gebäude	51
5.4.1 NO ₂ -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Friedrich-Ebert-Straße	51
5.4.2 NO ₂ -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Marienstraße	53
5.4.3 NO ₂ -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Bornumer Straße	53
5.4.4 NO ₂ -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Göttinger Straße	55
6. Zusammenfassung	57
7. Literaturverzeichnis	59
8. Tabellenverzeichnis	60
9. Abbildungsverzeichnis	61

Herausgeber

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim
Goslarsche Straße 3, 31134 Hildesheim

Hildesheim, November 2019

Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm,
Gefahrstoffe und Störfallvorsorge (ZUS LLGS)

1. Aufgabenstellung & Methodik

Die ZUS LLGS wurde am 28.11.2018 vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz beauftragt für die Standorte der verkehrsnahen Probenahmestellen des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsens (LÜN) in Oldenburg und Hannover die Verteilung der Konzentration von Stickstoffdioxid (NO_2) zu untersuchen. Dieser Bericht beschreibt die Untersuchung für die verkehrsnahen Messstandorte in Hannover. Diese befinden sich in der Bornumer Straße (DENI149), der Friedrich-Ebert-Straße (DENI150), der Göttinger Straße (DENI048) und der Marienstraße (DENI152).

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der NO_2 -Konzentrationsverteilung jeweils in einem Teilabschnitt der oben genannten Straßen, den die jeweilige Probenahmestelle des LÜN repräsentiert. Dazu ist zum einen die horizontale Konzentrationsverteilung in Höhe der Messung darzustellen. Hier ist die Differenz von Interesse, die zwischen dem Ort der Messung und der Baufluchtlinie auftritt. Zum anderen ist die Konzentrationsverteilung in der Vertikalen zu untersuchen. Dabei wird auf den Höhenbereich zwischen 1,5 m und 4 m abgestellt, der durch die 39. BImSchV zur Beurteilung der Luftqualität vorgegeben ist.

2. Eingesetzte Modelltechnik

Zur Durchführung der in der Aufgabenstellung beschriebenen Untersuchungen wird das prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM ausgewählt. Der Name MISKAM steht für Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Die Wahl des Modells ist in der generellen Eignung des Programms für Strömungs- und Ausbreitungsberechnungen in bebautem Gebiet begründet. Das Modell MISKAM wird nachfolgend beschrieben.

2.1 Das prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM

MISKAM ist ein dreidimensionales, nicht hydrostatisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell, welches sich aus einem dreidimensionalen prognostischen Strömungsmodell und einem dreidimensionalen Eulerschen Ausbreitungsmodell zusammensetzt.

2.2 Physikalische und numerische Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen des Modells MISKAM sind die vollständige dreidimensionale Bewegungsgleichung, die Turbulenzschließung und die Advektions-Diffusions-Gleichung (vgl. Zenger 1998 S. 130).

Das Prognosesystem des Strömungsteils von MISKAM besteht aus den kartesischen Komponenten der Bewegungsgleichung. Die Corioliskraft wird aufgrund der geringen Ausdehnung der Rechengebiete und möglicher Auftriebseffekte nicht berücksichtigt. Der turbulente Impulstransport wird über eine Schließung erster Ordnung berechnet. Die Bewegungsgleichung im Modell MISKAM enthält einen Term, über den der Einfluss von Vegetation auf die Strömung berücksichtigt wird. Der Term beschreibt die Abbremsung der Strömung durch die Vegetation aufgrund der Reibung an Blattflächen. Die Bewegungsgleichung wird durch die Forderung nach Divergenzfreiheit des Strömungsfeldes ergänzt. Dies geschieht durch eine zusätzliche Lösung einer elliptischen Differentialgleichung für die dynamischen Druckstörungen (vgl. Eichhorn 2011 S. 23).

Zur Parametrisierung der Turbulenz wird im Modell MISKAM eine Schließung erster Ordnung in Form des E- ϵ -Modells genutzt (vgl. Eichhorn 2011 S. 25).

Die Berechnung der kinetischen Turbulenzenergie und der Energiedissipation erfolgt über prognostische Gleichungssysteme. Diese komplexen Gleichungen, welche dem Handbuch entnommen werden können, beinhalten jeweils einen Term, mit dem die Einflüsse der Vegetation auf die Turbulenz berücksichtigt werden. Aufbauend auf der Lösung dieser Gleichungen des E- ϵ -Modells wird die mechanische Produktion von Turbulenzenergie und Dissipation parametrisiert (vgl. Eichhorn 2011 S. 25).

In Bezug auf die Impulsadvektion erfolgt die numerische Lösung der Advektionsterme in den Bewegungsgleichun-



gen in MISKAM in der hier durchgeführten Untersuchung mittels des Upstream-Verfahrens. Dieses Verfahren wird vom Modellentwickler zur Behandlung von Linienquellen wie z. B. dem Straßenverkehr als ausreichend angesehen.

Zur Ausbreitungsrechnung beinhaltet das Modell MISKAM ein Eulersches Ausbreitungsmodell, welches auf einer Prognosegleichung für eine dichteneutrale Luftbeimengung der Massenkonzentration m basiert (vgl. Eichhorn 2011 S. 27). Um auch für Substanzen, deren Dichte größer als die der Luft ist, eine verwertbare Aussage treffen zu können, kann im Modell die Sedimentation über den Ansatz einer konstanten Sedimentationsgeschwindigkeit und die Deposition über den Ansatz einer Depositionsgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Die Sedimentationsgeschwindigkeit wird bei der Berechnung der Advektion der Vertikalkomponente des Windfeldes zugeschlagen (vgl. Zenger 1998 S. 132).

2.3 Evaluierung des Modells MISKAM

Die Grundlage zur Evaluierung von prognostischen mikroskaligen Windfeldmodellen stellt die Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 dar. Die Evaluierung des Modells ist in einer Veröffentlichung von Eichhorn und Kniffka (2010) beschrieben. Es enthält interne Konsistenzprüfungen sowie Vergleiche mit Windkanalmessungen. Die Konsistenzprüfungen, welche als grundlegende Anforderungen an die Modelle verstanden werden können, werden vom Modell MISKAM sicher bestanden. In Bezug auf den Vergleich der Windkanalmessungen mit den Modellergebnissen treten in Teilen Differenzen auf. Diese Differenzen resultieren zum einen aus den bekannten Problemen der von MISKAM verwendeten Turbulenzschließung und zum anderen aus Inkonsistenzen der mit der Richtlinie ausgelieferten, auf Windkanalexperimenten basierenden Referenzdaten (vgl. Eichhorn und Kniffka 2010 S. 81). So ist in Bezug auf die Evaluierungsvorschriften der Richtlinie festzustellen, dass MISKAM mit einer Ausnahme alle Kriterien der Evaluierungsrichtlinie erfüllt (vgl. Eichhorn und Kniffka 2010 S. 89). Die Abweichung bzw. Nichterfüllung der Kriterien in einem Fall wird in der Veröffentlichung von Eichhorn und Kniffka nachvollziehbar auf Inkonsistenzen der Windkanaldaten zurückgeführt (vgl. Eichhorn und Kniffka 2010 S. 87). In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass auch die Evaluierung zweier CFD-Modelle durch Wevers (2008) in dem Fall, in dem MISKAM relevante Differenzen zu den Windkanaldaten aufweist, ähnliche Differenzen aufzeigt.

2.4 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

Anwendungsgebiete des Modells sind die Modellierung des Windfelds und der Ausbreitung von punkt-, linien- oder flächenförmig eingebrachten Luftverunreinigungen in bebautem Terrain, z. B. im Rahmen von Stadtplanungsprozessen, Straßenbauvorhaben oder der Luftreinhalteplanung. Dabei können Gebietsgrößen von bis zu ca. 1000 m x 1000 m x 500 m

und Gitterauflösungen zwischen 1 und 10 m realisiert werden (vgl. Eichhorn 2011 S. 13). Die Genauigkeit, mit der die Einflüsse der Bebauungsstrukturen auf die Strömung erfasst werden können, richtet sich nach der Auflösung des Diskretisierungsgitters. Dachschrägen können aufgrund der Gitterstruktur nur über eine Treppenstruktur approximiert werden.

Eine Begrenzung des Anwendungsbereichs erfährt das Modell in Bezug auf steile Topographien, labile thermische Schichtungen der Atmosphäre und Übersättigung bzw. Kondensation (vgl. Eichhorn 2011 S. 13). Chemische Prozesse wie z. B. die Stickoxid-Konversion, können nicht berücksichtigt werden. Dies ist jedoch unproblematisch, da die Umwandlung von NO_x zu NO_2 nachträglich sowohl über empirische Beziehungen (z. B. Romberg-Ansatz) als auch ein Chemiemodell erfolgen kann.

In Bezug auf die Gebäudeumströmung wird vom Modellentwickler dargestellt, dass MISKAM aufgrund der verwendeten E - ϵ -Turbulenzschließung die Höhe der Rezirkulationszone unterschätzt. Diese Eigenschaft des E - ϵ -Turbulenzmodells ist für die in dieser Untersuchung vorgenommene Immissionsberechnung aus Straßenverkehrsemissionen unproblematisch (vgl. Eichhorn 2011 S. 21).

Eine weitere Einschränkung liegt in der Vernachlässigung thermodynamischer Prozesse. Die Berechnung von Energieumsetzungen am Erdboden, an Wänden und Dächern wird im Modell nicht vorgenommen, da dies zu einem erheblichen Anstieg der Rechenzeit und des Speicherbedarfs führen würde. Im Zusammenhang mit der Berechnung von Jahresmittelwerten für verkehrsbezogene Anwendungen spielen derartige Effekte nur eine untergeordnete Rolle (vgl. Eichhorn 2011 S. 21).

Aus diesen Anwendungsgrenzen leitet sich die Vorgabe des Modellentwicklers ab, dass Untersuchungspunkte nicht in unmittelbaren Nachbarzellen von Gebäuden liegen dürfen und einen Mindestabstand von zwei Gitterzellen vom Erdboden aufweisen müssen. Die Richtlinie VDI 3783 Blatt 9, welche die Evaluierung prognostischer mikroskaliger Windfeldmodelle für Gebäude- und Hindernisumströmung zum Gegenstand hat, gibt hinsichtlich der Entfernung zwischen fester Modellberandung (Boden oder Gebäude) und dem interessierenden Gitterpunkt mindestens zwei Gitterzellen vor. Die Vorgaben des Modellentwicklers und der VDI 3783 Blatt 9 sind Grundlage der Auswertungen im Rahmen dieser Untersuchung.

2.5 Eingabegrößen des Modells

Als Eingabegrößen benötigt das Modell MISKAM eine Reihe von Angaben. So ist z. B. die Modellgeometrie vorzugeben. Dazu gehören die Größe des Modellgebietes, die räumliche Auflösung in der Horizontalen und Vertikalen sowie die Orientierung des Modellgebietes im Raum. Ferner sind Angaben zur Lage und räumlichen Ausdehnung der Gebäude erforderlich. Dazu gehören auch Angaben zu durchströmten Bereichen von Gebäuden wie z. B. eine Tordurchfahrt. Eine weitere notwendige Angabe ist die Rauigkeitslänge (z_0) zur

Beschreibung der Erd- und Gebäudeoberflächen.

Einen direkten Bezug zur Modellgeometrie besitzen auch die Emissions- und Quelldaten. Sie setzen sich aus der Art der Quelle (z. B. Punkt- oder Linienquelle) und dem Emissionsmassenstrom als Masse pro Zeiteinheit zusammen.

Für die Berücksichtigung der Vegetation benötigt das Modell Angaben zur Lage und räumlichen Ausdehnung, zur Blattflächendichte in m^2/m^3 und zum Vegetationsbedeckungsgrad. Die Blattflächendichte drückt aus, wie viel Blattfläche pro Volumen im Kronenraum eines Baumes vorhanden ist. Der Vegetationsbedeckungsgrad quantifiziert, in welchem Maße eine Gitterzelle in der Draufsicht Vegetation enthält.

In Bezug auf die meteorologischen Eingangsgrößen ist die Angabe von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Stabilität der Atmosphäre anzugeben. Dies kann wahlweise in Form einer mehrjährigen Ausbreitungsklassenstatistik (AKS-Format) oder über eine einjährige Ausbreitungsklassen-Zeitreihe (AKTerm-Format) erfolgen.

Neben den zuvor genannten Eingabegrößen sind die Steuerparameter für die Berechnung der Strömung und Ausbreitung anzugeben. Dazu gehören die Vorgabe des Advektionsschemas (Upstream, McCormack, Smolarkiewicz), die Wahl des Abbruchkriteriums (Stationarität, Zeitüberschreitung) und die Angabe einer Anzahl zu rechnender Zeitschritte, welche maximal 9999 betragen kann.

2.6 Validierung des Modells in Bezug auf die Berücksichtigung der Vegetation

Da für die zu betrachtenden Untersuchungsgebiete auch die Eignung des Modells in Bezug auf die Berücksichtigung der Einflüsse von Vegetation von Bedeutung ist, wird in diesem Abschnitt explizit auf diesen Punkt eingegangen.

Das Konzept, mit dem die Vegetation im Modell berücksichtigt wird, ist bereits in der Modellbeschreibung dargestellt. Vereinfacht lässt es sich derart beschreiben, dass der Einfluss der Vegetation über eine zusätzliche Widerstandskraft in den Bewegungsgleichungen sowie über modifizierte Produktionsraten der turbulenten kinetischen Energie und der Energiedissipation abgebildet wird. Die Folge sind eine Strömungsabbremmung im Bereich der Vegetation und die Turbulenzerhöhung in Baumkronen oder Hecken.

Das Konzept wurde hinsichtlich seiner Eignung zur Berücksichtigung der Einflüsse von Vegetation in Veröffentlichungen von Ries und Eichhorn (2001) und Balczó, Gromke und Ruck (2009) untersucht. Gegenstand dieser Studien sind im Wesentlichen Vergleiche der numerischen Berechnungsergebnisse mit Windkanalergebnissen.

Die Studie von Ries und Eichhorn (2001) hat zum einen die Durchströmung von unterschiedlichen Arten der Vegetation wie z. B. Laub- oder Nadelbäume zum Gegenstand. Hier wurden die Windprofile und die Turbulenzenergie im

Luv, im Lee und innerhalb der Vegetation selbst untersucht. Zum anderen wurde die Strömung und Schadstoffverteilung innerhalb einer Straßenschlucht mit Baumreihen zu jeder Straßenseite untersucht. Dabei wurden insbesondere die Veränderung der Windgeschwindigkeit und der Schadstoffverteilung aufgrund der Vegetation betrachtet. Im Ergebnis stellen die Autoren fest, dass die Modellergebnisse hinsichtlich der Durchströmung der Vegetation akzeptable Übereinstimmungen mit den Windkanalergebnissen zeigen. Nicht zufriedenstellend sind die Ergebnisse in Bezug auf das Turbulenzsystem. Hier ist jedoch einschränkend anzumerken, dass nicht die aktuell in MISKAM realisierte E-ε-Turbulenzschließung verwendet wurde, sondern eine E-l-Turbulenzschließung. Für den Untersuchungsfall Straßenschlucht zeigen die Modellergebnisse die aufgrund der Windkanaldaten zu erwartenden Auswirkungen in Bezug auf die Windgeschwindigkeit und die Schadstoffverteilung (vgl. Ries und Eichhorn 2001 S. 233). Die Modellergebnisse werden im Vergleich mit den Windkanalergebnissen insgesamt positiv bewertet.

Gegenstand der Studie von Balczó, Gromke und Ruck ist die Untersuchung einer idealisierten Straßenschlucht mit und ohne eine Baumreihe in ihrer Mitte. Es werden die Windgeschwindigkeit, die Turbulenzintensität und die Schadstoffverteilung im Straßenraum untersucht. Im Fazit ihrer Studie kommen die Autoren zu dem Schluss, dass MISKAM die wesentlichen Muster der Strömung und Schadstoffverteilung in der Straßenschlucht mit und ohne Vegetation qualitativ vergleichbar zu den Windkanaluntersuchungen beschreibt. Quantitativ zeigten die Modellergebnisse im direkten Vergleich zu den Windkanalergebnissen im Bereich der Straßenschlucht in Teilen geringere Windgeschwindigkeiten und demzufolge höhere Schadstoffkonzentrationen. Trotz dieser teilweisen quantitativen Differenzen zwischen Modell und Windkanal wird MISKAM inklusive seines Vegetationsmoduls von den Autoren als geeignet angesehen, die Auswirkungen von Vegetation im Straßenraum auf die Schadstoffverteilung zu beschreiben (vgl. Balczó et al. 2009 S. 205). Dies wird von den Autoren insbesondere durch die gute Abbildung der Differenzen zwischen der Straßenschlucht mit und ohne Vegetation begründet, welche vom Modell im Vergleich zum Windkanal in vergleichbarer Qualität wiedergegeben wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die in den Studien vorgenommenen Vergleiche von Windkanalergebnissen mit Modellergebnissen relativ gute Übereinstimmungen zeigen. Differenzen treten in Teilen bei der exakten quantitativen Abbildung der im Windkanal ermittelten Daten mit dem Modell auf. Hier neigt der Modellansatz tendenziell zu einer Überschätzung der mittleren Schadstoffkonzentration. Insgesamt wird jedoch in beiden Studien das Modell grundsätzlich als geeignet angesehen, um den Einfluss der Vegetation auf die Schadstoffverteilung im Straßenraum zu beschreiben. Es sind aus hiesiger Sicht daher keine Gründe erkennbar, die gegen eine Verwendung des Modells MISKAM für die zu bearbeitende Aufgabenstellung sprechen.



3. Untersuchungsgebiete

Die vier zu untersuchenden Straßenabschnitte sind im Stadtgebiet von Hannover lokalisiert. Während die Marienstraße im Innenstadtbereich zwischen Aegidientorplatz und Braunschweiger Platz gelegen ist, befinden sich die drei weiteren Straßen südlicher im Stadtgebiet, in den Stadtteilen Linden (Bornumer Straße und Göttinger Straße) und Ricklingen (Friedrich-Ebert-Straße).

3.1 Untersuchungsgebiet Friedrich-Ebert-Straße

Das Untersuchungsgebiet der Friedrich-Ebert-Straße besitzt eine Ausdehnung von 800 m x 1.000 m. Im Kern des Untersuchungsgebietes liegt die Friedrich-Ebert-Straße. Das Untersuchungsgebiet ist als weitestgehend eben zu bezeichnen.

3.1.1 Verkehrssituation in der Friedrich-Ebert-Straße

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet ist der topographischen Karte in Abbildung 1 zu entnehmen. Die Friedrich-Ebert-Straße ist beidseitig bebaut. Sie stellt die südliche Verlängerung der Göttinger Straße dar und ist Teil der Bundesstraße 6. Sie verbindet die Stadtteile Linden-Süd und Ricklingen und verläuft nahezu in Nord-Süd-Richtung. Am südlichen Ende der Straßenschlucht ist eine Lichtsignalanlage für Fußgänger und Radfahrer. Im weiteren Verlauf mündet die Straße in einen mit Lichtsignalanlagen gesteuerten Kreisverkehr (Ricklinger Kreisel) ein.

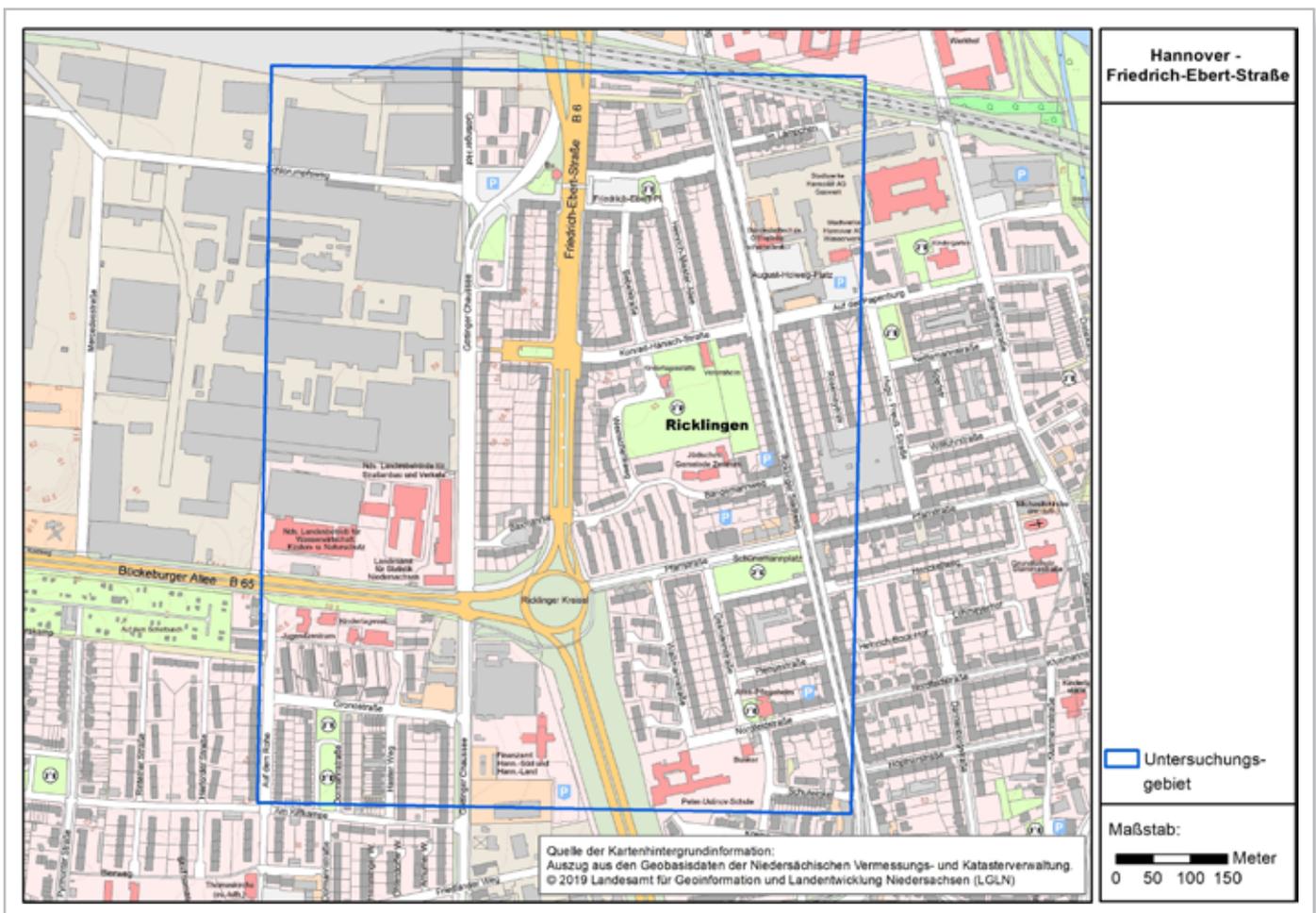


Abbildung 1: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Friedrich-Ebert-Straße

Die Friedrich-Ebert-Straße weist ein erhebliches Verkehrsaufkommen auf. Dominant sind hinsichtlich der Anteile an der gesamten Verkehrsmenge die Pkw und die schweren Nutzfahrzeuge. Im Bereich des zur Untersuchung relevanten Abschnittes ist die Straße vierspurig. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt in diesem Bereich 50 km/h. Nach An-

gaben der Stadt Hannover ist für die Friedrich-Ebert-Straße von einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) von ca. 47.100 Kraftfahrzeugen auszugehen. Die Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Friedrich-Ebert-Straße ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Die Daten wurden von der Stadt Hannover in 2017 zur Verfügung gestellt.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Friedrich-Ebert-Straße

Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	39.115	83,0
Kraft- und Motorräder	236	0,5
Bus	94	0,2
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	2.356	5,0
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	5.325	11,3

3.1.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Friedrich-Ebert-Straße

In Bezug auf ihre Geometrie weist die Straßenschlucht der Friedrich-Ebert-Straße einige Besonderheiten auf. Der Abstand zwischen der beidseitigen Bebauung ist mit 39 m relativ groß. Die Straßenrandbebauung weist eine sehr homogene Höhe von ca. 11,5 m auf. Die Abbildung 2 veranschaulicht die Geometrie der Straßenschlucht am Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung.

Die Straßenschlucht der Friedrich-Ebert-Straße setzt sich von Westen nach Osten aus einem Vorgartenbereich der Wohnbebauung, einem sich daran anschließenden Gehweg und einer einspurigen Straße mit Parkstreifen, einem Grünstreifen mit Bäumen, der vierspurigen Bundesstraße, einem weiteren Grünstreifen mit Bäumen und einer Straße mit Parkstreifen und einem Gehweg zusammen.

Die Vegetation ist in der Grafik vereinfacht dargestellt. In der Realität stellt sich die Ausprägung der Vegetation et-

was differenzierter dar. Die seitlichen Baumreihen bestehen aus Platanen (*Platanus hispanica*). Die Höhe der Baumreihen liegt zwischen 12 m und 15 m. Sie besitzen eine Kronenbreite von ca. 10 m, so dass sie die Bundesstraße mit einer Breite von etwa 12 m nicht vollständig nach oben hin abschirmen. Die Fotoaufnahme (Abbildung 3), welche die Vegetation in der Straßenschlucht im unbelaubten Zustand zeigt, verdeutlicht dies.

Die räumliche Ausdehnung der Vegetation wird durch das Orthofoto in Abbildung 4 veranschaulicht. Hier ist zu erkennen, dass die Baumreihen sich über die gesamte Länge der Straßenschlucht erstrecken.

Die Länge dieses beidseitig bebauten und mit den Baumreihen versehenen Straßenabschnittes der Friedrich-Ebert-Straße beträgt ca. 200 m. Zur seitlichen Bebauung hin ist zu erkennen, dass die Vegetation bis zum Parkstreifen vor der Bebauung reicht. Die Fahrzeuge auf dem Parkstreifen sind noch deutlich sichtbar.

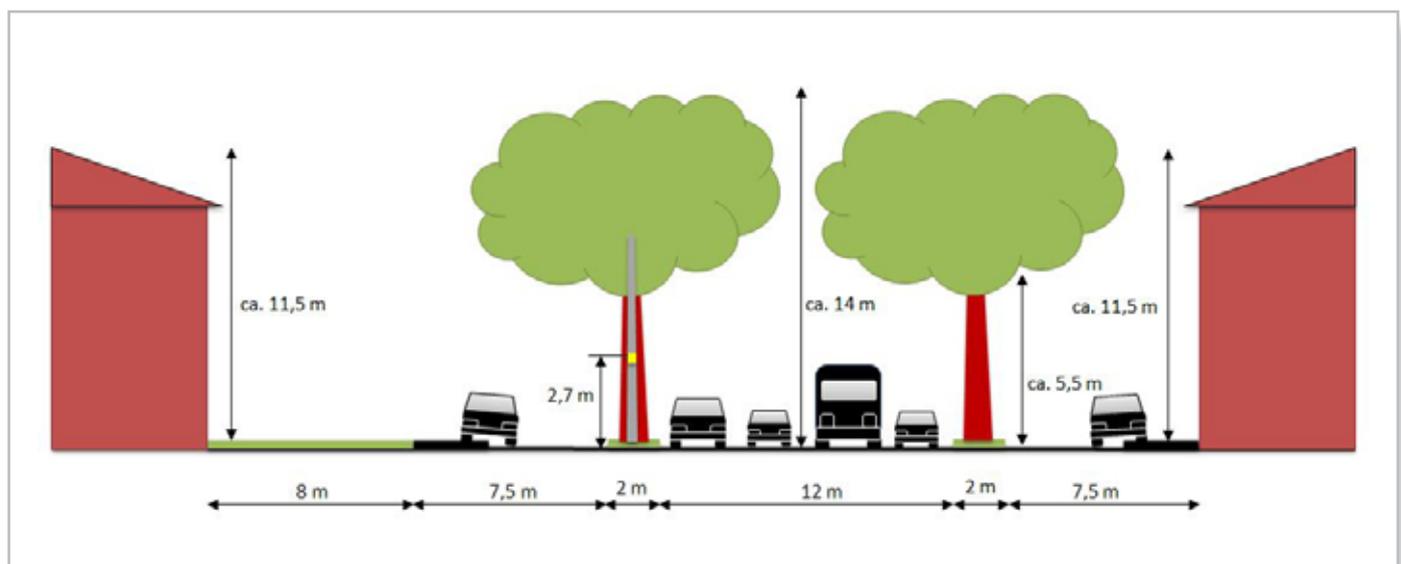

Abbildung 2: Querschnitt der Straßenschlucht der Friedrich-Ebert-Straße mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (gelbe Markierung).



Abbildung 3: Straßenschlucht der Friedrich-Ebert-Straße mit Blickrichtung Nord

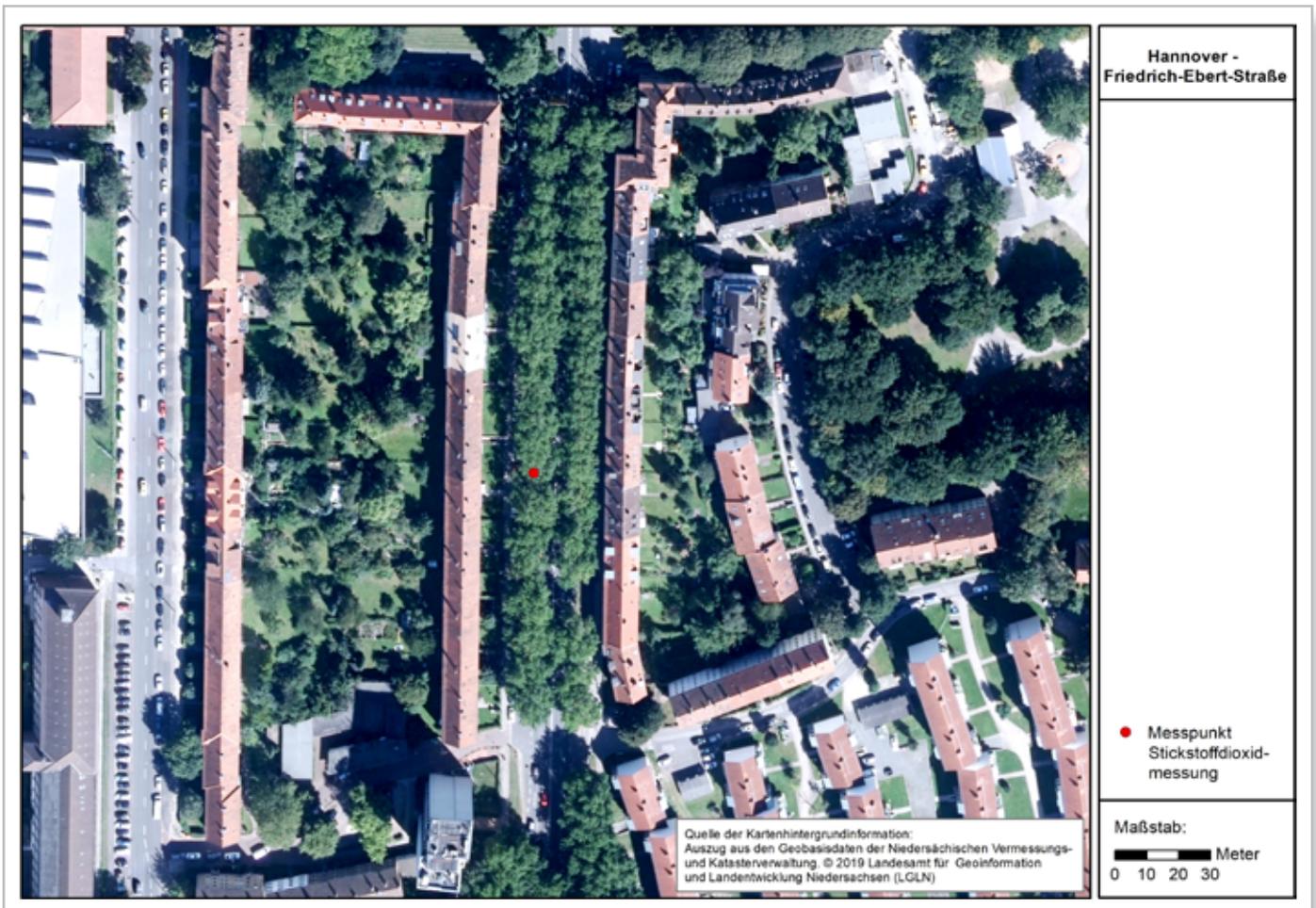


Abbildung 4: Orthofoto mit dem Straßenzug der Friedrich-Ebert-Straße und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung

3.1.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Friedrich-Ebert-Straße

Für die weitere Beurteilung im Sinne von Nr. 1 der Anlage 3 B der 39. BImSchV ist eine Kenntnis über die Gebäudenutzung im untersuchten Straßenabschnitt der Friedrich-Ebert-Straße erforderlich. Dazu wurden zum einen von der Stadt Hannover Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich der Friedrich-Ebert-Straße wohnen zur Verfügung gestellt. Die Anwohnerzahlen wurden dabei nicht für einzelne Adressen, sondern für Adressenblöcke angegeben. Zum anderen wurde im Rahmen einer Ortsbegehung am 27.02.2019 durch die ZUS LLGS die Nutzungsform der Gebäude erhoben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Nutzungsform der Gebäude bezogen auf die verschiedenen Geschosse und die Anwohnerzahlen.

Die Zuordnung der Nutzungsform erfolgte in der Art, dass die Geschosse, die zum Zeitpunkt der Erhebung nicht ungenutzt waren oder nicht gewerblich genutzt wurden als Wohnnutzung interpretiert wurden. Für die in Tabelle 2 aufgeführten Adressen ist festzustellen, dass die dominierende Nutzungsform die Wohnnutzung ist. Mit Ausnahme eines Gebäudes, bei dem im Erdgeschoss eine gewerbliche Nutzung vorliegt, ist zum Stand 27.02.2019 sowohl im Erdgeschoss als auch in den Obergeschossen davon auszugehen, dass hier ausschließlich Wohnnutzung stattfindet.

Um eine Zuordnung der Gebäude zu den in der vorangegangenen Tabelle dargestellten Adressen zu ermöglichen, sind in Abb. 5 die betrachteten Gebäude mit den Hausnummern dargestellt.

Tabelle 2: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Friedrich-Ebert-Straße

Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG und höher
Friedrich-Ebert-Str. 29	188	Gastronomie/Wohnen	Wohnen
Friedrich-Ebert-Str. 31 – 51 (nur ungerade Nummern)		Wohnen	Wohnen
Friedrich-Ebert-Str. 42 – 64 (nur gerade Nummern)	201 ¹⁾	Wohnen	Wohnen

¹⁾ Die Anwohnerzahl beinhaltet auch die Bewohner der Friedrich-Ebert-Straße 34, 36, 38 und 40.

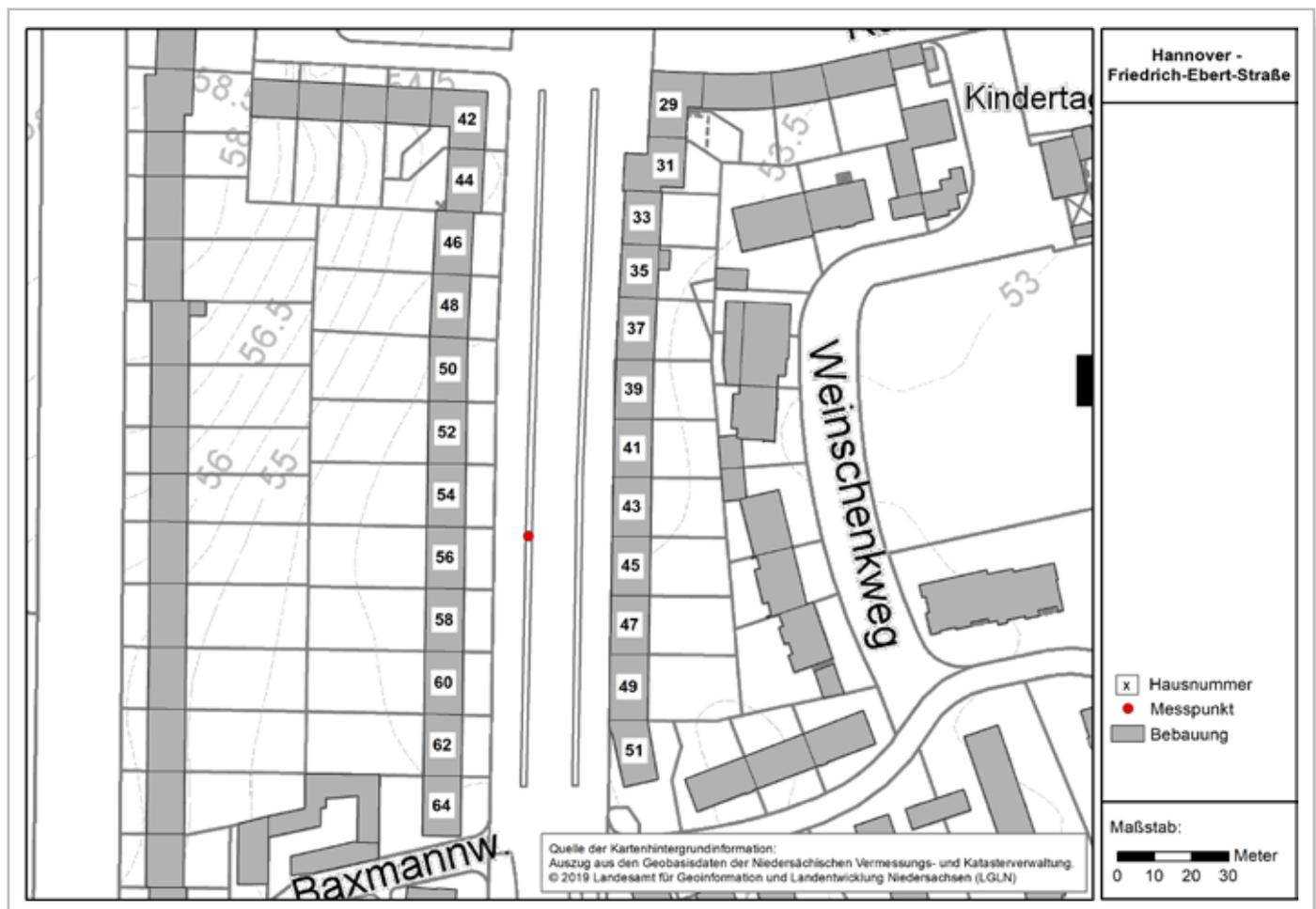


Abbildung 5: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Friedrich-Ebert-Straße



3.2 Untersuchungsgebiet Marienstraße

Das Untersuchungsgebiet der Marienstraße weist eine Abmessung von 1.000 m x 700 m auf. Die in nahezu West-Ost-Richtung verlaufende Marienstraße liegt im Zentrum des Rechengebietes. Das Untersuchungsgebiet ist mit Ausnahme des Damms für die Bahngleise im Nordosten des Gebietes weitestgehend eben.

3.2.1 Verkehrssituation in der Marienstraße

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet Marienstraße ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Marienstraße ist beidseitig bebaut und verläuft nahezu in West-Ost-Richtung. Sie stellt die westliche Verlängerung der Hans-Böckler-Allee dar und ist somit ein Teil der Verbindung von der B3 zum Innenstadtbereich bzw. dem Aegidientorplatz. Der untersuchte Abschnitt der Marienstraße ist im Westen durch die Ampelkreuzung mit der Berliner Allee und der Sallstraße begrenzt. Nach Osten hin endet der Untersuchungsabschnitt auf

Höhe der Querstraßen Am Südbahnhof und der Kestnerstraße. In diesem Bereich befindet sich eine Fußgängerampel. Eine weitere Fußgängerampel liegt ca. 100 m weiter westlich auf Höhe der einmündenden Stadtstraße.

Die Marienstraße weist ein hohes Verkehrsaufkommen auf, welches durch die Pkw (Anteil ca. 92 %) dominiert wird. Leichte und schwere Nutzfahrzeuge haben ein Anteil von rund 7 % an der Fahrzeugflotte. Der Linienbusverkehr ist in der Marienstraße nicht von Bedeutung, da unter der Marienstraße eine Stadtbahnlinie verläuft. Im Wesentlichen ist die Straße vierspurig, sie wird in Teilen durch Abbiegespuren fünfspurig und im Kreuzungsbereich mit Berliner Allee und Sallstraße weitet sie sich auf sechs Spuren auf. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Nach Angaben der Stadt Hannover ist für die Marienstraße von einem DTV von ca. 42.000 Kraftfahrzeugen auszugehen. Die Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Marienstraße ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Daten wurden von der Stadt Hannover in 2017 zur Verfügung gestellt.

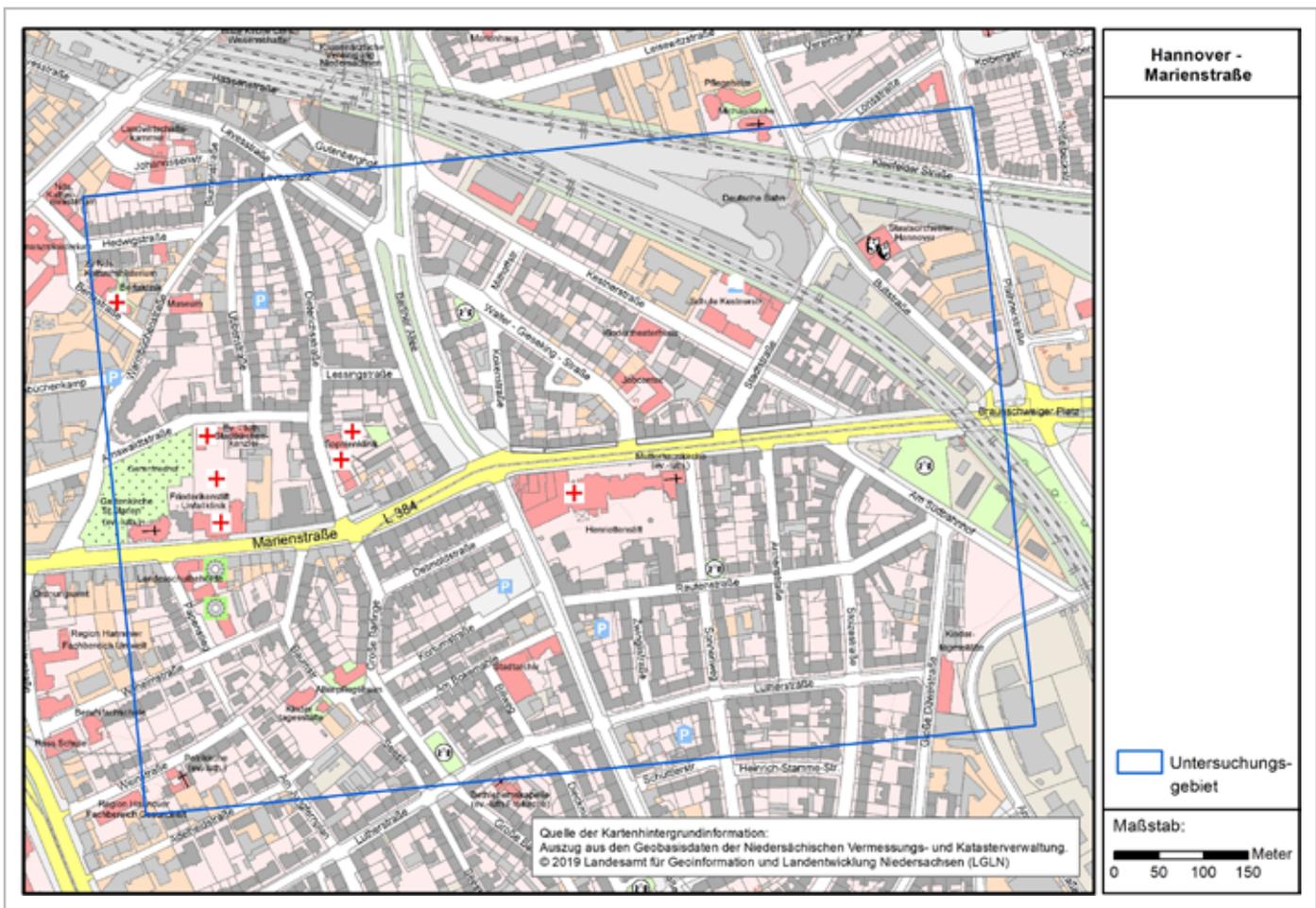


Abbildung 6: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Marienstraße

Tabelle 3: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Marienstraße

Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	38.683	92,5
Kraft- und Motorräder	210	0,5
Bus	0	0,0
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	2.098	5,0
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	965	2,3

3.2.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Marienstraße

Die Straßenschlucht der Marienstraße ist durch eine beidseitige straßenbegleitende Bebauung geprägt. Dabei variiert der Abstand der Bebauung zur Fahrbahn, insbesondere im Bereich des Krankenhauses Henriettenstiftung, hier liegen die Gebäudeteile zwischen 6 und 20 m von der Fahrbahn entfernt. Der Abstand zwischen den Bebauungsseiten ist daher nicht konstant, er liegt in weiten Teilen der Marienstraße bei etwa 28 m. Auf Höhe der NO₂-Messung ist die Gebäudereihe auf der südlichen Seite zurückgesetzt, der Abstand zwischen den Bebauungsbereichen beträgt hier ca. 39 m. Die Straßenrandbebauung weist eine Höhe von 16 bis 22 m auf, wobei die nördliche Bebauung eine relativ homogene Höhe zwischen 16 und 18 m aufweist. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die Geometrie der Straßenschlucht am Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung.

Die Straßenschlucht der Marienstraße setzt sich von Norden nach Süden aus einem Gehweg, einem Radweg und der in diesem Bereich fünfspurigen Straße zusammen, wobei drei Spuren in Richtung Westen führen und zwei in Richtung Osten. Südlich der Fahrbahn schließt sich ein Bürgersteig an, der in Teilen der Straße einzeln stehende Bäume (Robinien) aufweist. Weiter hin zur südlichen Bebauung schließen sich ein Radweg, ein Gehweg, eine Pallasade und ein Stellplatz der Henriettenstiftung an.

Vegetation ist im Untersuchungsgebiet nur vereinzelt vorhanden. Die Marienstraße weist straßenbegleitend in unregelmäßigem Abstand Robinien auf. In diesen Bereichen mit Vegetation kann von einem Einfluss auf die Durchmischung im Straßenraum ausgegangen werden.

Die räumliche Struktur des Straßenraums zeigt das Ortho-foto in Abbildung 9. Hier sind der variierende Abstand der Bebauung zur Fahrbahn und die Anordnung der Vegetation im Straßenraum zu erkennen.

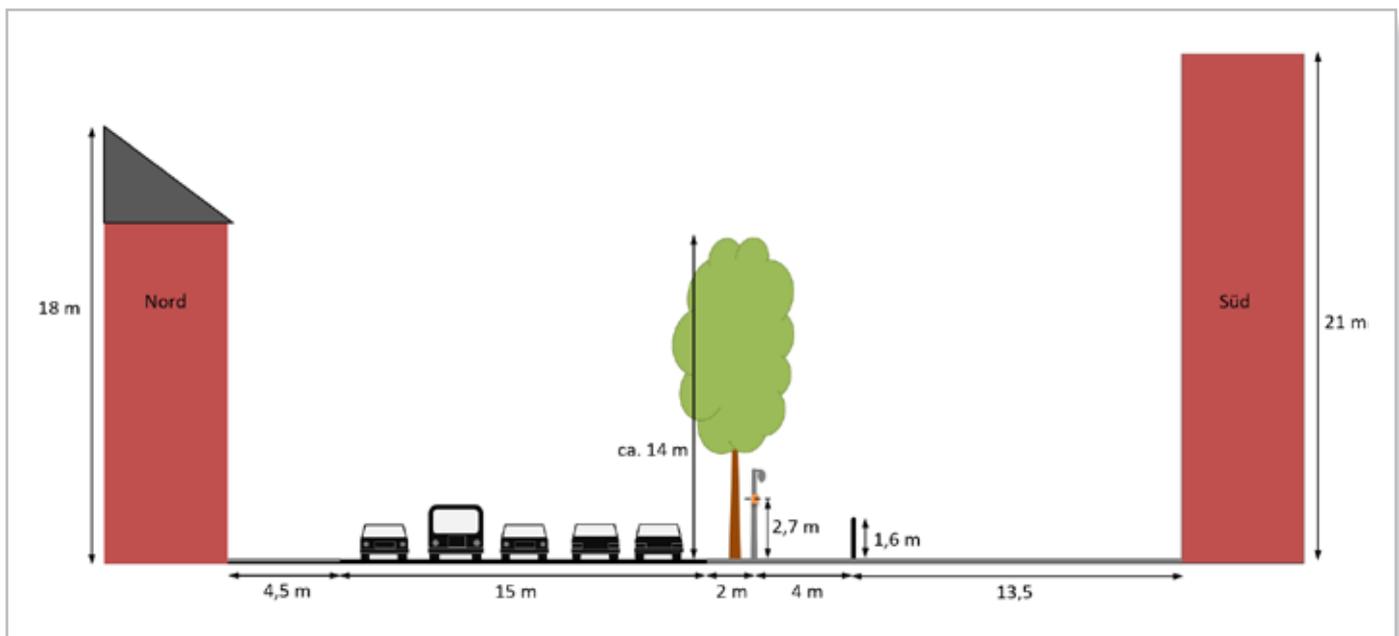


Abbildung 7: Querschnitt der Straßenschlucht der Marienstraße mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung).



Abbildung 8: Straßenschlucht der Marienstraße mit Blickrichtung Ost



Abbildung 9: Orthofoto mit dem Straßenzug der Marienstraße und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung

Die Bebauung wird auf beiden Seiten durch kleinere einmündende Straßen unterbrochen. Auf der nördlichen Seite sind dies die Walter-Gieseking-Straße und die Stadtstraße, auf der südlichen Seite der Sonnenweg und die Annenstraße. Die Länge dieses beidseitig bebauten Straßenabschnittes der Marienstraße beträgt ca. 350 m.

3.2.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Marienstraße

Für die weitere Beurteilung im Sinne von Nr. 1 der Anlage 3 B der 39. BImSchV ist eine Kenntnis über die Gebäudenutzung im untersuchten Straßenabschnitt der Marienstraße erforderlich. Dazu wurde im Rahmen einer Ortsbegehung am 27.02.2019 durch die ZUS LLGS die Nutzung der Gebäude in der Marienstraße erhoben. Die Stadt Hannover hat dazu Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich der Marienstraße wohnen zur Verfügung ge-

stellt. Die Anwohnerzahlen wurden dabei nicht für einzelne Adressen, sondern für Adressenblöcke angegeben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Nutzungsform der Gebäude bezogen auf die Geschosse und die Anwohnerzahlen.

Die Zuordnung der Nutzungsform erfolgte analog zu der in Nr. 3.1.3 beschriebenen Vorgehensweise. Für die in Tabelle 4 aufgeführten Adressen ist festzustellen, dass zum Stand 27.02.2019 reine Wohnnutzung erst im 1. Obergeschoss stattfindet. Im Erdgeschoss liegt im Wesentlichen gewerbliche Nutzung vor. Dazu gibt es aber mit dem Krankenhaus Henriettenstiftung und einer Schule noch andere Nutzungsformen, die eine längere Verweildauer für das jeweilige Klientel (Kranke, Schüler) erwarten lassen als für die Kunden der Gewerbebetriebe.

Die nachfolgend dargestellte Abbildung 10 ermöglicht eine räumliche Zuordnung der in Tabelle 4 aufgeführten Adressen.

Tabelle 4: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Marienstraße

Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG und höher
Marienstraße 69	119	Gastronomie	Wohnen
Marienstraße 71 – 83 (nur ungerade Nummern)		Gewerblich	Wohnen
Stadtstraße 17	k. I. ¹	Schule	Schule
Marienstraße 85 – 93 (nur ungerade Nummern)	78	Gewerblich	Wohnen
Marienstraße 97 – 105 (nur ungerade Nummern)	92 ²	Gewerblich	Wohnen
Marienstraße 72 und 80	17	Krankenhaus	Krankenhaus
Marienstraße 90		Krankenhaus/Kirche	Krankenhaus/Kirche
Marienstraße 92, 94 und 96	63	Gewerblich	Wohnen
Annenstraße 1	117 ³	Gewerblich	Wohnen
Marienstraße 100	38	Gewerblich ⁴	Wohnen
Marienstraße 102 und 104		Gewerblich	Wohnen

¹⁾ Hier lagen keine Informationen für die einzelne Adresse vor.

²⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Marienstraße 95 – 107 ungerade.

³⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Annenstraße 1 bis 8.

⁴⁾ Zum Zeitpunkt der Erhebung ungenutzt.

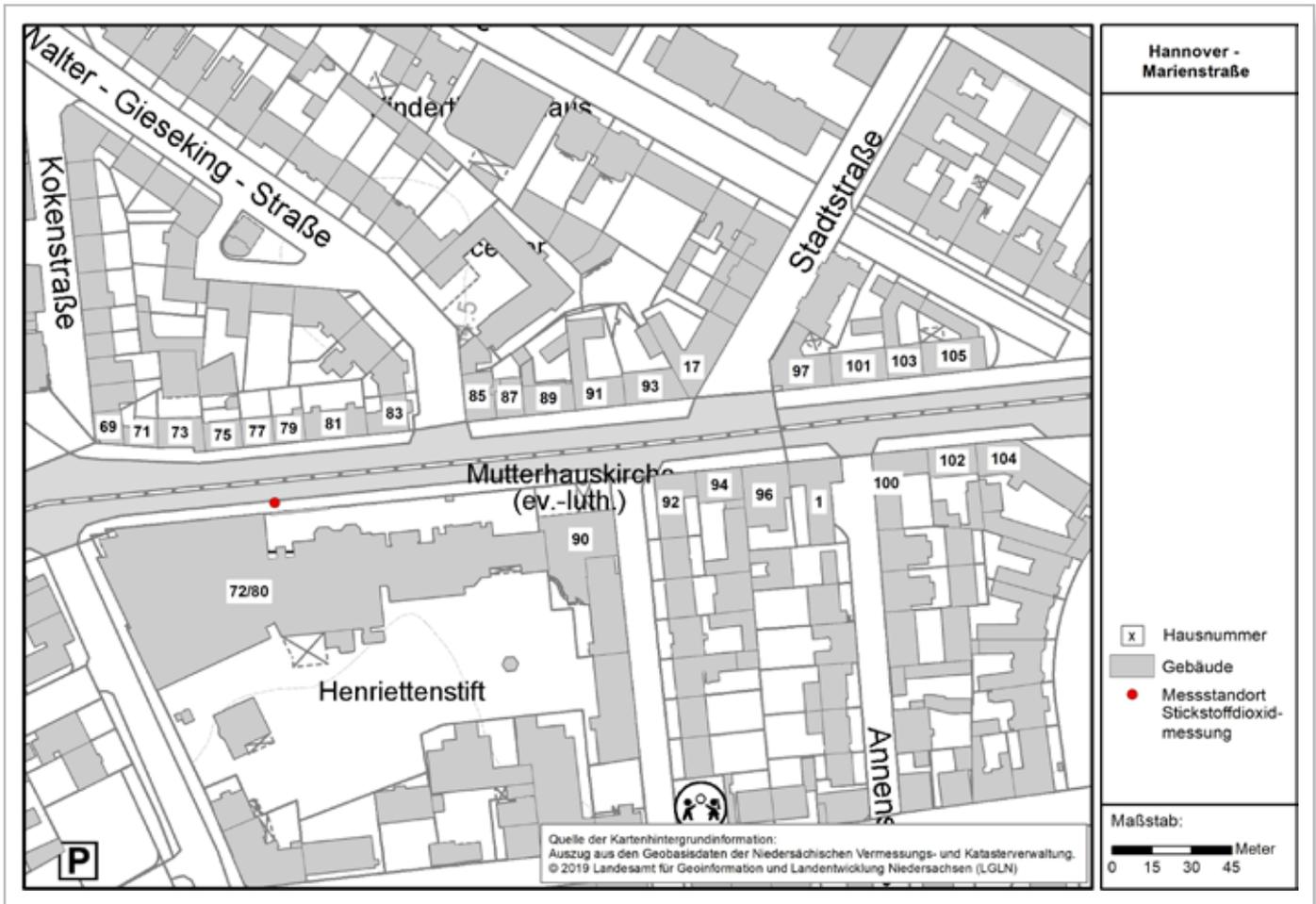


Abbildung 10: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Marienstraße

3.3 Untersuchungsgebiet Bornumer Straße

Das Untersuchungsgebiet der Bornumer Straße besitzt eine räumliche Ausdehnung von 900 m x 700 m. Die Bornumer Straße liegt im Zentrum des Rechengebietes. Das Untersuchungsgebiet ist im Wesentlichen eben, es steigt in Richtung des Lindener Bergs in Richtung Nordwest leicht an. In der Berechnung wird das Gelände als eben betrachtet.

3.3.1 Verkehrssituation in der Bornumer Straße

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet Bornumer Straße zeigt Abbildung 11. Die Bornumer Straße ist eine vier-spurige Straße und verläuft in Westsüdwest-Ostnordost-Richtung. In Teilbereichen ist die Straße fünf-spurig, dort wo Abbiegespuren, z. B. in die Marianne-Bäcker-Allee, vorliegen. Dazu weitet sich die Bornumer Straße an der Einmündung zum Kreisverkehr am Deisterplatz auf fünf Spuren auf, wobei drei Spuren in den Kreisverkehr hineinführen und zwei Spuren aus dem Kreisverkehr in die Bornumer Straße hineinführen.

Der Untersuchungsschwerpunkt ist der Straßenabschnitt zwischen Sporlederweg und dem Kreisverkehr am Deisterplatz, der ca. 130 m lang ist. Annähernd mittig dieses Straßenabschnittes mündet von Süden die Bredenbecker Straße ein. Hier befindet sich eine Fußgängerampel. Nach Osten hin mündet die Bornumer Straße in den Kreisverkehr am Deisterplatz; die Einfahrt in den Kreisverkehr wird über Ampeln geregelt.

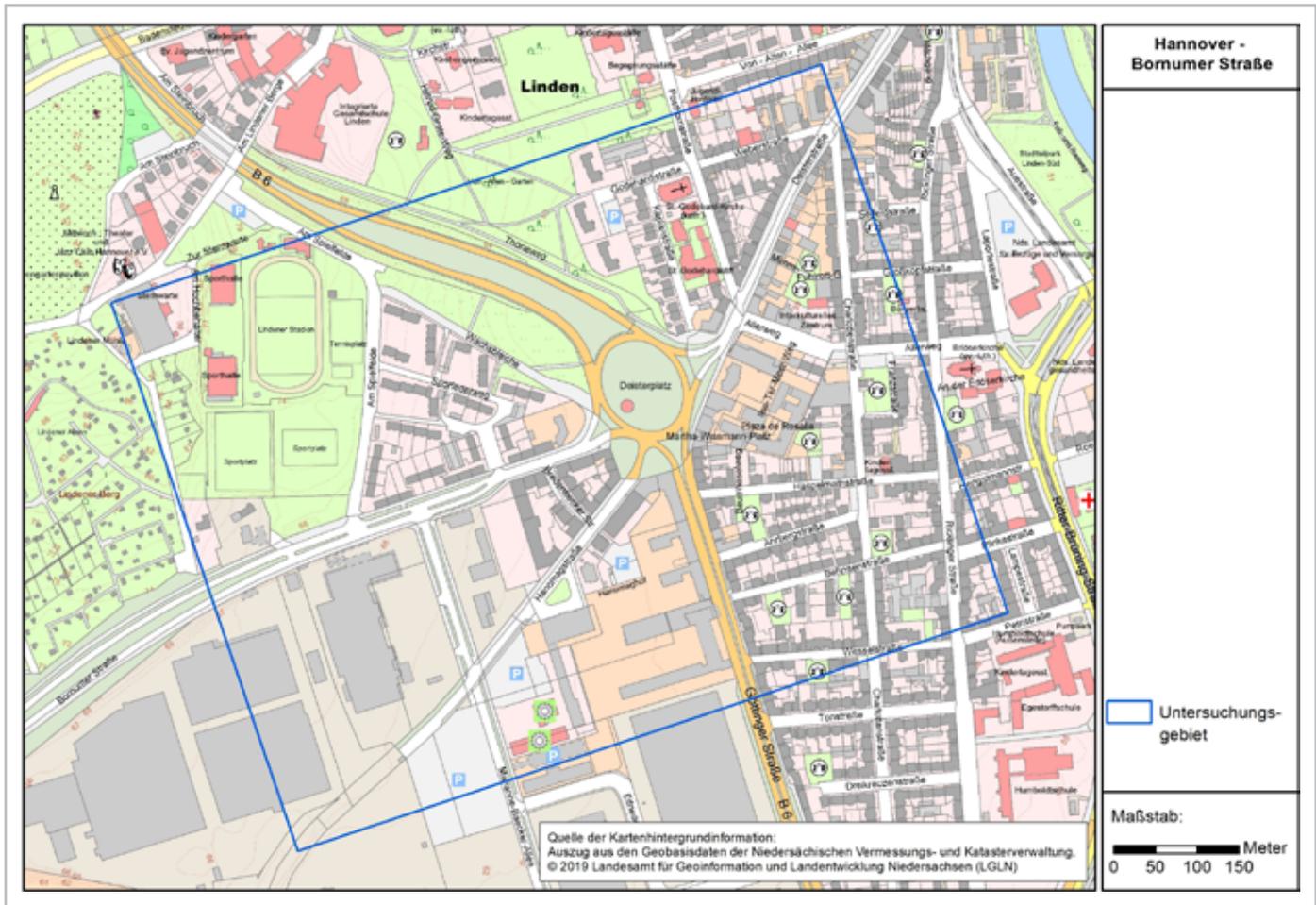


Abbildung 11: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Bornumer Straße

Die Bornumer Straße weist ein moderates Verkehrsaufkommen auf, welches durch die Pkw (Anteil ca. 89 %) dominiert wird. Mit einem Anteil von rund 9 % haben auch die leichten und schweren Nutzfahrzeuge einen relevanten Anteil an der Fahrzeugflotte. Der Linienbusverkehr ist für die Bornumer Straße von Bedeutung, im Untersuchungsschwerpunkt zwischen Sporlederweg und Deisterplatz befindet sich auf jeder Straßenseite eine Haltestelle.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit in der Bornumer Straße beträgt 50 km/h. Nach Angaben der Stadt Hannover aus 2017 ist für die Bornumer Straße von einer täglichen Verkehrsbelastung von ca. 27.400 Kraftfahrzeugen auszugehen. Die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Bornumer Straße

Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	24.423	89,1
Kraft- und Motorräder	137	0,5
Bus	302	1,1
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	1.371	5,0
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	1.179	4,3



3.3.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Bornumer Straße

Die Bornumer Straße ist im Untersuchungsgebiet in Teilen beidseitig bebaut. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes weist die Bornumer Straße nur wenig straßenbegleitende Bebauung auf. In diesem Bereich sind die Fahrtrichtungen durch einen zum Teil mit Baumbestand versehenen Grünstreifen getrennt. Weiter in östlicher Richtung, im Untersuchungsschwerpunkt zwischen Sporlederweg und dem Kreisverkehr am Deisterplatz ist die Straße beidseitig bebaut, wobei der Bebauungsriegel auf der nördlichen Seite kürzer ist als auf der südlichen Seite. Der Abstand zwischen der Bebauung beidseits der Straße beträgt etwa 20 m. Die Straßenrandbebauung weist eine Höhe von 12 bis 24 m auf, wobei die Gebäude auf der nördlichen Straßenseite mit 12 – 24 m deutlich niedriger sind als auf der südlichen Seite, mit Gebäudehöhen zwischen 20 und 24 m. Die nachfolgende Grafik zeigt den Querschnitt der Straßenschlucht am Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung.

Die Straßenschlucht der Bornumer Straße gliedert sich von Norden nach Süden in einen Gehweg, einen Radweg, die in diesem Bereich vierspurigen Straße, einen Radweg und einen Gehweg.

Vegetation ist im Untersuchungsgebiet nur vereinzelt vorhanden. Auf der nördlichen Straßenseite finden sich im Anschluss an die Gebäudereihe hin zum Deisterplatz mehrere hochgewachsene ca. 20 m hohe Platanen und Ahorne (siehe Abbildung 13). Der Deisterplatz selbst ist durch hohen Ahorn- und Pappelbestand geprägt. Am westlichen Ende der nördlichen Bebauungsreihe befinden sich an der Einmündung zum und im Sporlederweg Linden und Schwedische Mehlbeeren mit einer Höhe von 10 – 12 m.

Die Anordnung von Bebauung und Vegetation im Straßenraum zeigt das Orthofoto in Abbildung 14.

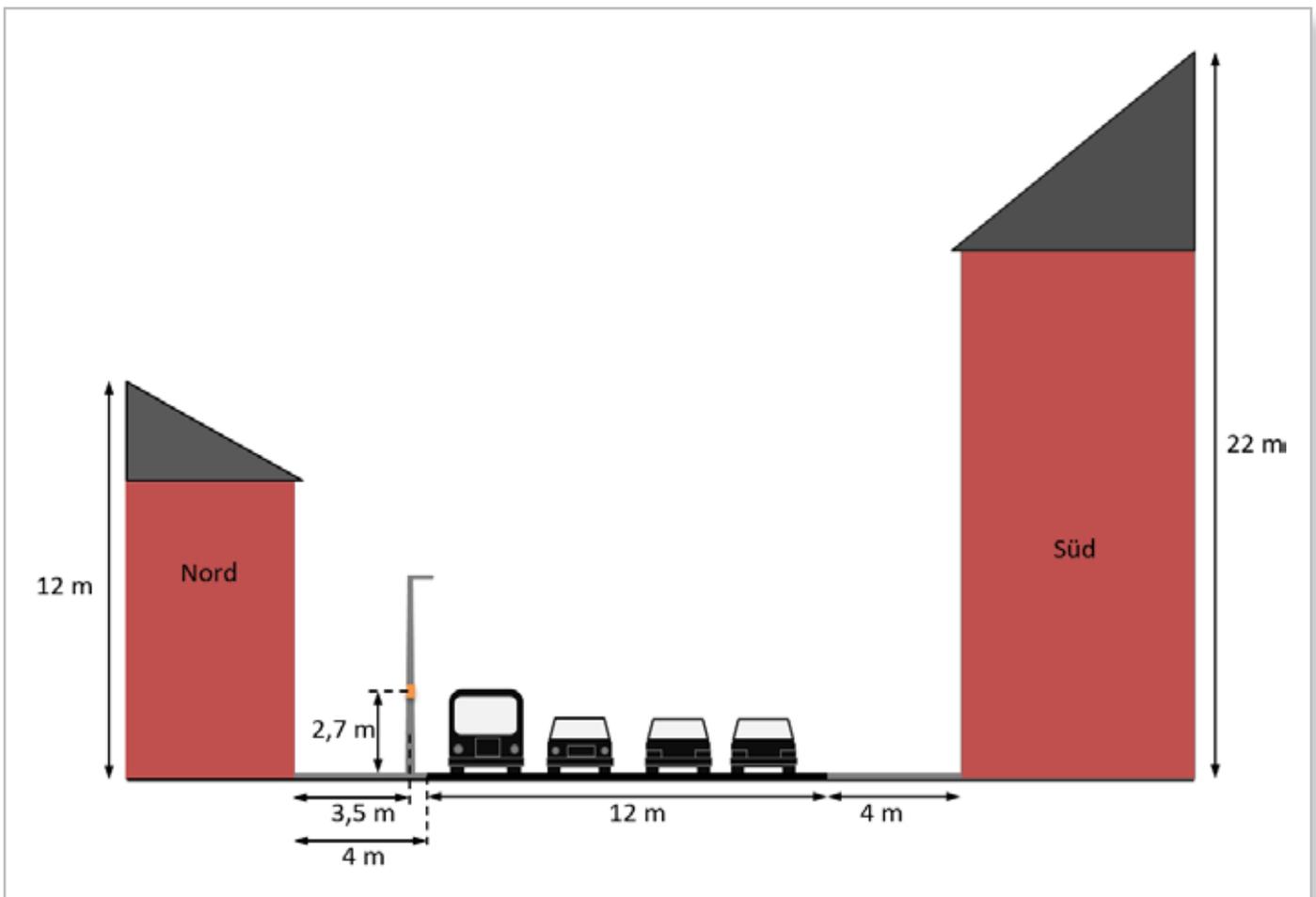


Abbildung 12: Querschnitt der Straßenschlucht der Bornumer Straße mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung).



Abbildung 13: Straßenschlucht der Bornumer Straße mit Blickrichtung Ost



Abbildung 14: Orthofoto mit der Straßenschlucht der Bornumer Straße und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung



Die Bebauung ist auf der südlichen Seite durch die einmündende Bredenbecker Straße unterbrochen. Auf der nördlichen Seite befindet sich im östlichen Teil der Bebauungsreihe eine Toreinfahrt.

3.3.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Bornumer Straße

Zur Beurteilung im Sinne von Nr. 1 der Anlage 3 B der 39. BImSchV ist eine Information über die Nutzung der Gebäude im untersuchten Straßenabschnitt der Bornumer Straße erforderlich. Die Stadt Hannover hat dazu Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich der Bornumer Straße wohnen, zur Verfügung gestellt. Die Nutzung der Gebäude wurde im Rahmen einer Ortsbe-

gang durch die ZUS LLGS am 18.04.2019 erhoben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Nutzungsform der Gebäude bezogen auf die Geschosse und die Anwohnerzahlen.

Die Zuordnung der Nutzungsform erfolgte analog zu der in Nr. 3.1.3 beschriebenen Vorgehensweise. Für die in Tabelle 6 aufgeführten Adressen ist festzustellen, dass zum Stand 18.04.2019 reine Wohnnutzung im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss stattfindet. Ein Sonderfall stellen die Gebäude in der Bornumer Straße 7 und 9 dar. Diese ursprünglich als Wohngebäude genutzten Gebäude werden derzeit saniert und stehen leer.

Die nachfolgend dargestellte Abbildung 15 ermöglicht eine räumliche Zuordnung der in Tabelle 6 aufgeführten Adressen.

Tabelle 6: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Bornumer Straße

Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG und höher
Bornumer Straße 1	60	Wohnen/Gewerbe	Wohnen
Bornumer Straße 3 und 5		Wohnen	Wohnen
Bornumer Straße 4 und 6	166 ¹	Gewerbe	Gewerbe
Bornumer Straße 8 und 10		Wohnen	Wohnen
Bornumer Straße 7 und 9	0	Keine ²	Keine ²
Bredenbecker Straße 8	76 ³	Wohnen	Wohnen

¹⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Bornumer Straße 2 bis 28 gerade.

²⁾ Die Gebäude sind Wohngebäude die derzeit vollständig saniert werden.

³⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Bredenbecker Straße 2 bis 8.

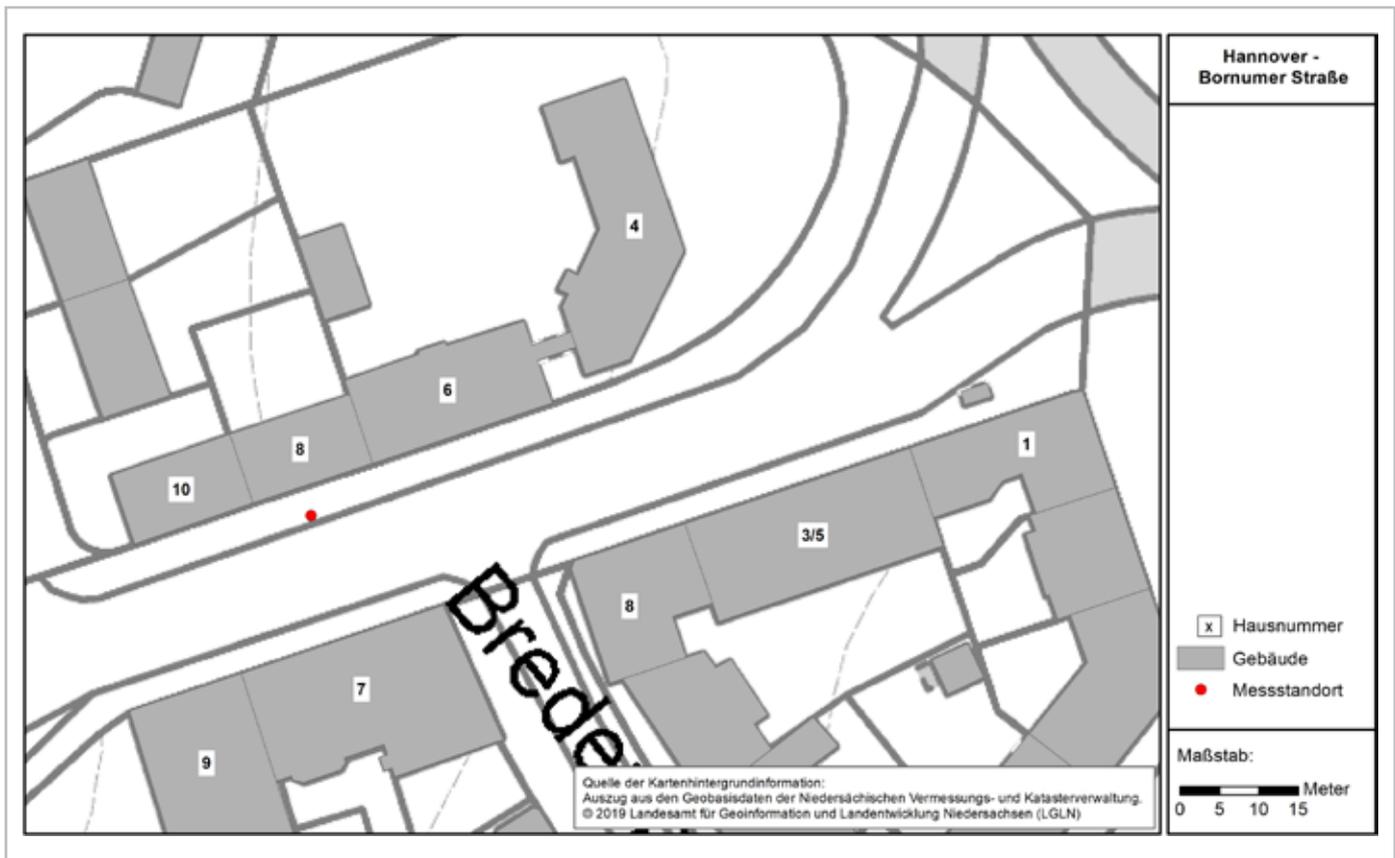


Abbildung 15: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Bornumer Straße

3.4 Untersuchungsgebiet Göttinger Straße

Das Untersuchungsgebiet der Göttinger Straße weist Abmessungen von 700 m x 900 m auf. Die Göttinger Straße ist der Kern des Rechengebietes. Das Untersuchungsgebiet ist als eben zu betrachten.

3.4.1 Verkehrssituation in der Göttinger Straße

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet Göttinger Straße zeigt Abbildung 16. Die Göttinger Straße ist eine vierspurige Straße. Sie verläuft in Nordnordost-Südsüdwest-Richtung und stellt die Verbindung zwischen der Friedrich-Ebert-Straße und dem Kreisverkehr am Deisterplatz dar.

Als Untersuchungsschwerpunkt der Göttinger Straße steht der ca. 170 m lange Straßenabschnitt zwischen der von Osten einmündenden Behnsenstraße und dem Kreisverkehr am Deisterplatz im Fokus. Von Ost her münden noch zwei weitere Straßen in diesen Abschnitt der Göttinger Straße. Dies sind die Ahrbergstraße und die Haspelmathstraße.

Auf Höhe der Behnsenstraße befindet sich eine Fußgängerampel. Nach Norden hin mündet die Göttinger Straße in den Kreisverkehr am Deisterplatz; die Einfahrt in den Kreisverkehr wird über Ampeln geregelt.

Die Göttinger Straße weist ein mittleres Verkehrsaufkommen auf, welches durch die Pkw (Anteil 79 %) und vor allem auch durch die leichten und schweren Nutzfahrzeuge (Anteil 21 %) geprägt ist. Die Göttinger Straße hat damit von den vier betrachteten Straßen im Stadtgebiet den höchsten Anteil an leichten und schweren Nutzfahrzeugen. Der Busverkehr ist für die Göttinger Straße nur von untergeordneter Bedeutung.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit in der Göttinger Straße beträgt 40 km/h. Ausgehend von den Informationen der Stadt Hannover aus dem Jahr 2017 ist für die Göttinger Straße von einer täglichen Verkehrsbelastung von ca. 30.900 Kraftfahrzeugen auszugehen. Die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte ist in Tabelle 7 dargestellt.

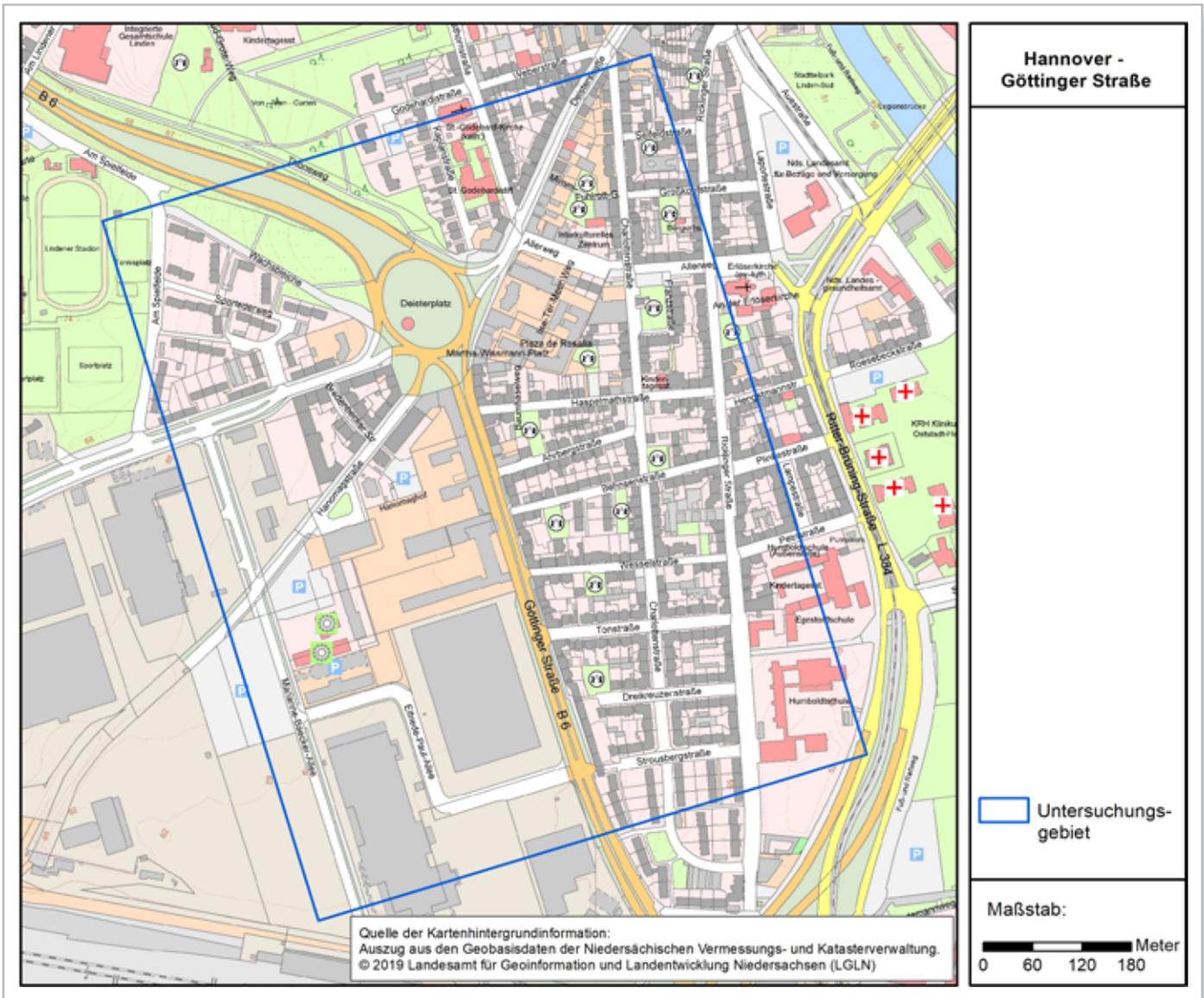


Abbildung 16: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Göttinger Straße

Tabelle 7: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Göttinger Straße

Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	24.293	78,7
Kraft- und Motorräder	154	0,5
Bus	93	0,3
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	1.543	5,0
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	4.785	15,5

3.4.2 Bebauungs- und Vegetationssituation in der Göttinger Straße

Die Göttinger Straße ist im Untersuchungsgebiet im Wesentlichen beidseitig bebaut. Nur im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes ist die Bebauung auf der westlichen Seite aufgelockert bzw. befinden sich die Gebäude in größerem Abstand von der Straße, wie z. B. die sogenannte U-Boot-Halle nördlich der Elfriede-Paul-Allee. Nördlich der Wesselstraße ist die Göttinger Straße beidseitig bebaut. In diesem Bereich gibt es von Osten her mit der Behnsenstraße, der Ahrbergstraße und der Haspelmathstraße drei einmündende Straßen, die die straßenbegleitende Bebauung unterbrechen. Auf der westlichen Seite gibt es keine einmündenden Straßen. Hier ist aber auf der Höhe der Göttinger Straße 14 ein breiter Toreinfahrtsbereich zu beachten, der die Göttinger Straße mit dem Gelände hinter dem westlichen straßenbegleitenden Bebauungsriegel verbindet.

Der Abstand zwischen den Bebauungsseiten liegt im Untersuchungsschwerpunkt zwischen Behnsenstraße und Deisterplatz zwischen 24 und 27 m. Die Straßenrandbebauung weist hier Höhen von 14 bis 22 m auf. Auf der westlichen Seite weisen die Gebäude mit zumeist 19 m Höhe eine sehr homogene Höhenstruktur auf. Die auf der östlichen Straßenseite gelegene Bebauung besitzt Gebäudehöhen zwischen

14 und 19 m. Die nachfolgende Grafik zeigt den Querschnitt der Straßenschlucht am Ort der LÜN-Messstation.

Die Straßenschlucht der Göttinger Straße gliedert sich von Westen nach Osten in einen Gehweg und Radweg, zwei Fahrspuren (Fahrtrichtung Süd), einen Mittelstreifen, zwei weitere Fahrspuren (Fahrtrichtung Nord), einen Parkstreifen und einen Gehweg. Auf dem Gehweg auf der westlichen Seite steht der LÜN-Messcontainer.

Vegetation ist im Untersuchungsgebiet nur stellenweise vorhanden. Die Göttinger Straße selbst weist nur südlich der Tonstraße Vegetationselemente in relevantem Umfang auf. Hier stehen auf der westlichen Seite auf Höhe der U-Boot-Halle junge Platanen, auf der Ostseite an die Gebäude angrenzend ältere Platanen. Weitere Vegetation befindet sich in den von Osten einmündenden Querstraßen zur Göttinger Straße. Die Straßen weisen hier großgewachsene ca. 20 m hohe Robinien auf, die zum Teil in die Göttinger Straße hineinragen (siehe Abbildung 18). Der im Norden an die Göttinger Straße anschließende Deisterplatz ist durch hohen Ahorn- und Pappelbestand geprägt.

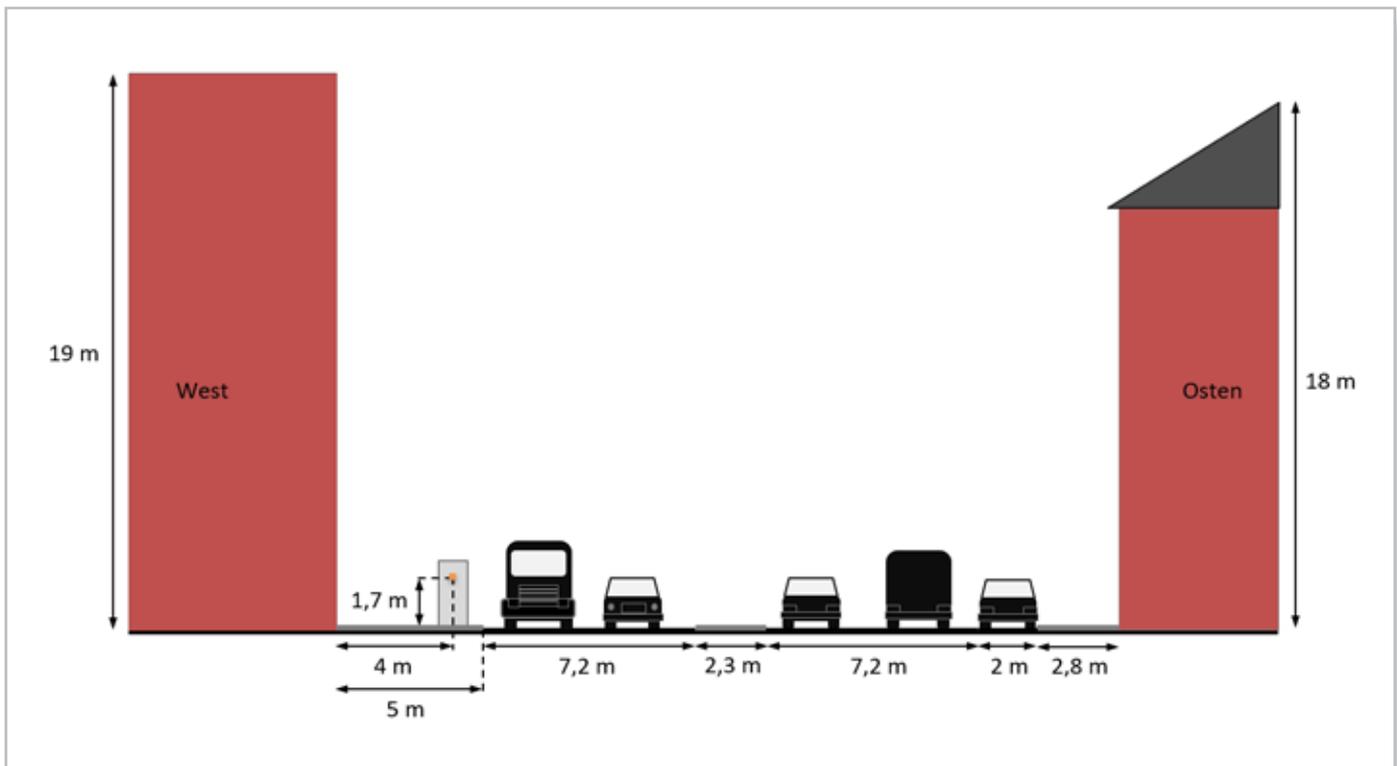


Abbildung 17: Querschnitt der Straßenschlucht der Göttinger Straße mit LÜN-Messcontainer (Blickrichtung Nord)



Abbildung 18: *Straßenschlucht der Göttinger Straße mit Blickrichtung Süd*

Die Anordnung von Bebauung und Vegetation im Straßenraum zeigt das Orthofoto in Abbildung 19.

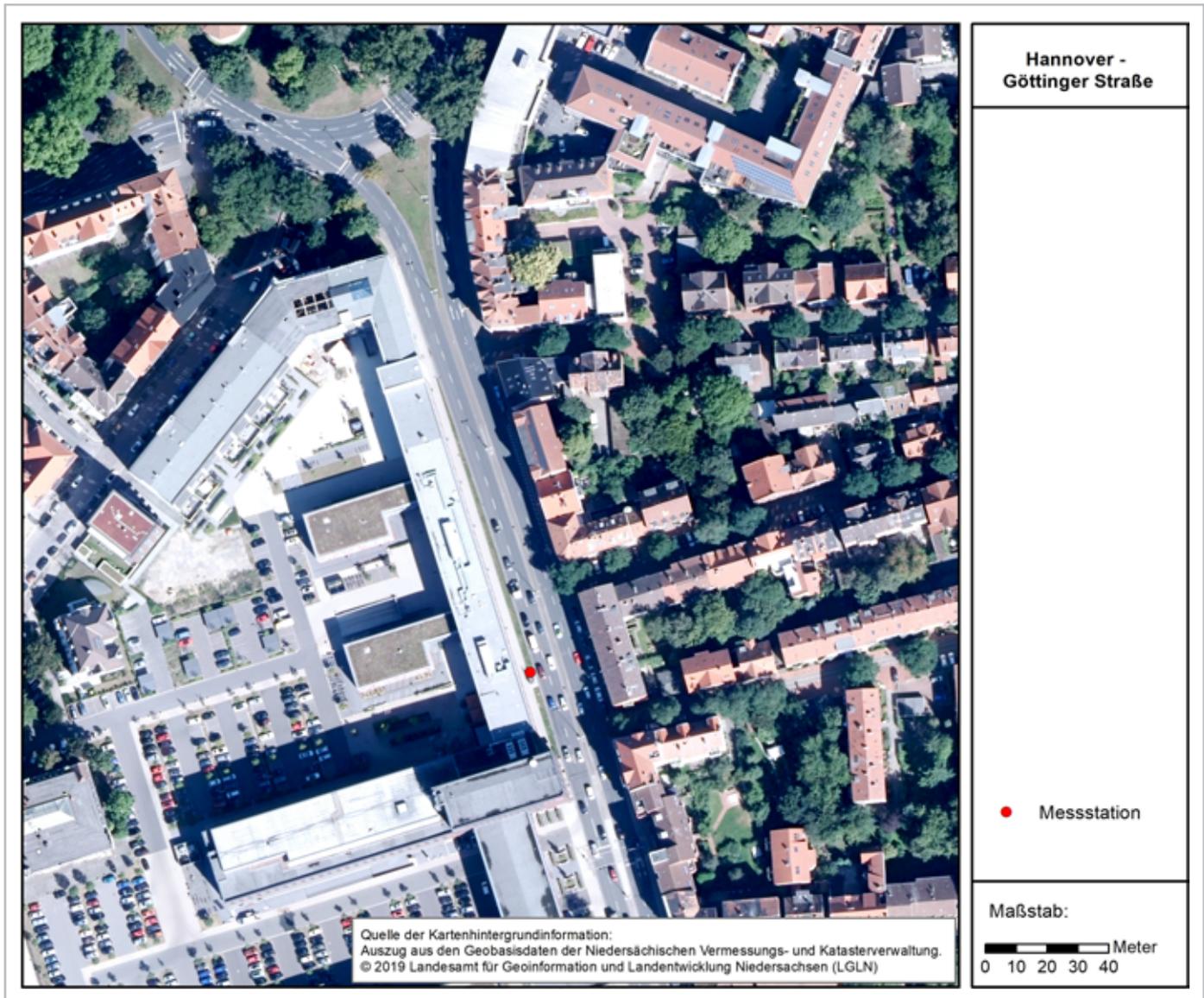


Abbildung 19: Orthofoto mit der Straßenschlucht der Göttinger Straße und dem Standort der Messstation

3.4.3 Nutzungssituation der Gebäude in der Göttinger Straße

Zur Beurteilung im Sinne von Nr. 1 der Anlage 3 B der 39. BImSchV ist eine Information über die Nutzung der Gebäude im untersuchten Straßenabschnitt der Göttinger Straße erforderlich. Von der Stadt Hannover wurden dazu Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich der Göttinger Straße wohnen, zur Verfügung gestellt. Die Nutzung der Gebäude wurde im Rahmen einer Ortsbegehung durch die ZUS LLGS am 18.04.2019 erhoben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Nutzungsform der Gebäude bezogen auf die Geschosse und die Anwohnerzahlen.

Die Zuordnung der Nutzungsform erfolgte analog zu der in Nr. 3.1.3 beschriebenen Vorgehensweise. Zu den in Tabelle 8 aufgeführten Adressen ist festzustellen, dass zum Stand 18.04.2019 Wohnnutzung im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss erfolgt.

Die nachfolgend dargestellte Abbildung 20 ermöglicht eine räumliche Zuordnung der in Tabelle 8 aufgeführten Adressen.



Tabelle 8: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Göttinger Straße

Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG und höher
Göttinger Straße 14	0	Gewerbe	Gewerbe
Hanomaghof 1, 2 und 4	24 ¹⁾	Gewerbe	Gewerbe
Haspelmathstraße 1	k. l. ²⁾	Wohnen/Gewerbe	Wohnen
Göttinger Straße 64 und 65	42 ³⁾	Wohnen	Wohnen
Göttinger Straße 61 und 63	99 ⁴⁾	Gewerbe	Wohnen
Göttinger Straße 62		Gewerbe	Wohnen
Göttinger Straße 62a		Wohnen	Wohnen
Göttinger Straße 59	89	Wohnen	Wohnen
Göttinger Straße 60 und 60a		Gewerbe	Wohnen

¹⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Hanomaghof 2 – 12 gerade sowie 5, 9 und 11.

²⁾ Hier lagen keine Informationen für die einzelne Adresse vor.

³⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Göttinger Straße 64 – 197 gerade und ungerade.

⁴⁾ Die Angabe bezieht sich auf die Adressen Göttinger Straße 61, 62, 62a, 63 und 63a.

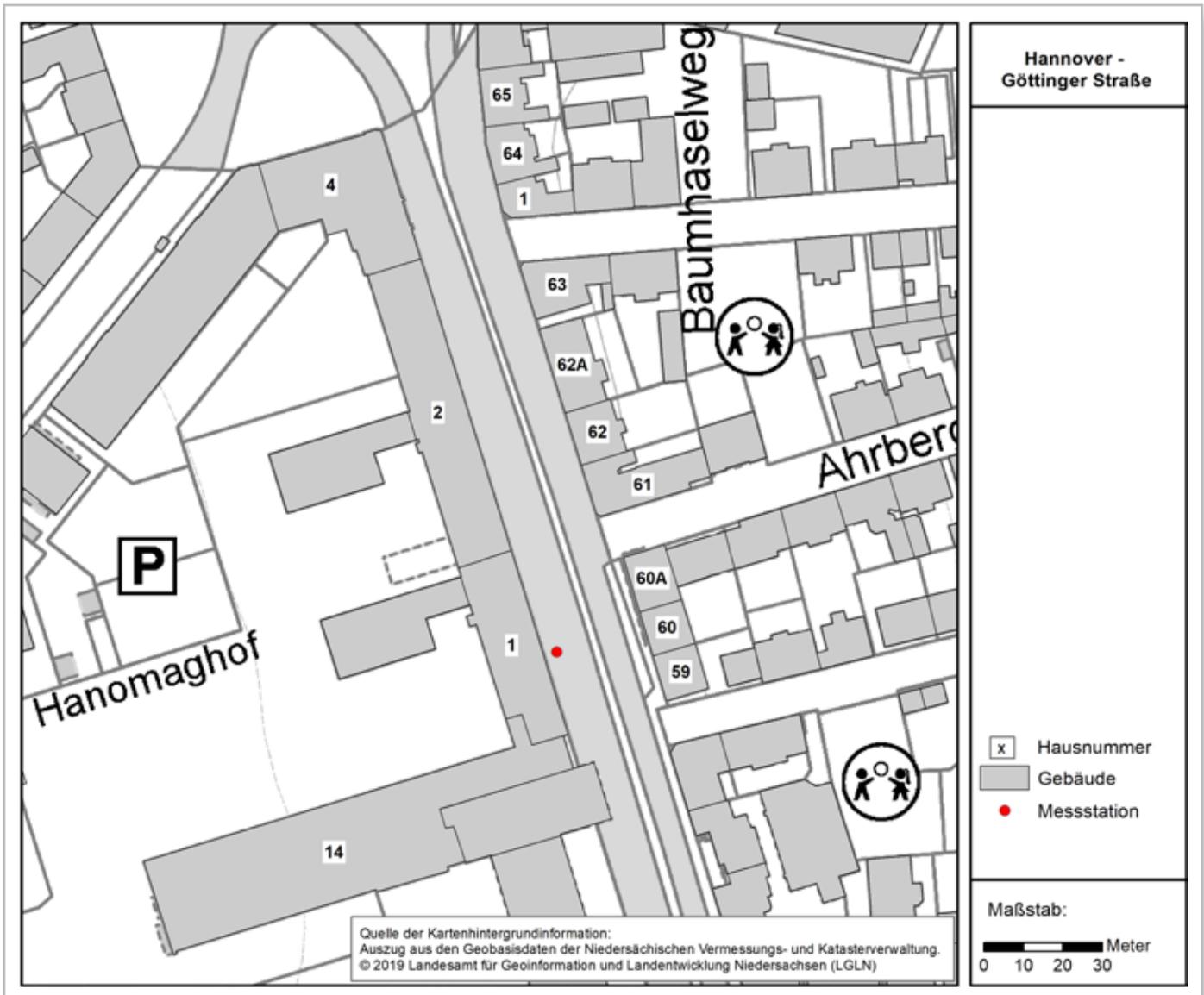


Abbildung 20: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Göttinger Straße

4. Ausgangsdaten

Grundlage für die Untersuchung sind standortrepräsentative Daten zur Bebauung, zum Verkehr, zur Vegetation und zur Meteorologie.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden ausschließlich die Emissionen der Stickstoffoxide (NO_x) berücksichtigt. Die für die Berechnungen mit dem Modell MISKAM erforderlichen Emissionsdaten sind die Emissionen des Straßenverkehrs. Für den späteren Vergleich der Modellergebnisse mit Messdaten wird darüber hinaus noch Bezug auf weitere Emissionsquellen, wie z. B. den Hausbrand oder die Emissionen aus Industrie und Gewerbe genommen, die in diesem Bericht jedoch nicht näher dargestellt werden.

4.1 Verkehrsemissionen

Die verwendeten NO_x- und NO₂-Emissionen des Straßenverkehrs basieren auf den Daten, die für die Berechnungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung der Stadt Hannover vom GAA Hildesheim verwendet wurden. Die Emissionen sind auf die Fahrzeugflotte des Jahres 2018 bezogen.

Die Emissionsermittlung erfolgt auf Basis der Verkehrsstärke in Kombination mit Emissionsfaktoren. Die Verkehrsstärke (DTV) wird als durchschnittlicher täglicher Wert in Form eines Jahresmittelwertes angegeben. Die Verkehrsstärke weist in der Regel einen Tagesgang und Wochengang mit Spitzen zu den Hauptverkehrszeiten auf. Da im Rahmen dieser Untersuchung Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidkonzentration berechnet werden, ist die Verwendung von Jahresmittelwerten zur Beschreibung der Verkehrsstärke eine zulässige Vereinfachung, die keine relevanten Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis hat.

Neben der Verkehrsstärke ist die Zusammensetzung des Verkehrs eine essentielle Eingangsgröße zur Emissionsberechnung. Diese wird über die Fahrzeugflotte beschrieben und teilt sich in die Fahrzeugklassen Pkw, Kraftfahrzeug (Krad), Bus sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge auf.

Die Angaben zur Verkehrsstärke und -zusammensetzung sind in Tabelle 9 dargestellt.

Zur Ermittlung der Emissionen sind neben der Verkehrsstärke und -zusammensetzung Emissionsfaktoren erforderlich. Diese sind neben dem Fahrzeugtyp auch von der Verkehrssituation abhängig. Die Verkehrssituation wird über die nachfolgend dargestellten Kategorien differenziert:

- Gebietstyp (ländlich oder städtisch),
- Straßentyp (sieben Typen für städtisches und acht für ländliches Gebiet),
- zulässige Höchstgeschwindigkeit,

- Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (LOS – Level of Service, angegeben in vier Stufen: freier, dichter und gesättigter Verkehr sowie Stop-and-go),
- Längsneigung (vgl. Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 S. 18).

Die Daten zur Verkehrsstärke, -zusammensetzung und -situation wurden von der Stadt Hannover im Rahmen der Berechnungen für die Luftreinhalteplanung zur Verfügung gestellt.

Auf Basis der zuvor dargestellten Daten wird pro Fahrzeugart für jede einzelne Fahrzeugschicht (unterschieden nach Motorkonzept, Euronormstufe und Gewichtsklasse) und für jede Verkehrssituation ein Schichtemissionsfaktor gebildet. Die wesentliche Datengrundlage für diese differenzierte Ermittlung der Emissionsfaktoren stellt das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) dar. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die untersuchten Straßen einen Teil der für die Emissionsberechnung relevanten Kenngrößen sowie die berechneten Emissionen für die Stickstoffoxide (NO_x) und Stickstoffdioxid (NO₂).

Neben den Emissionen des Straßenverkehrs werden in den Berechnungen mit dem Modell MISKAM auch die Emissionen des Bahnverkehrs berücksichtigt. Stickstoffoxide werden durch Motorabgase des nicht elektrifizierten Schienenverkehrs verursacht. Im Untersuchungsgebiet Marienstraße liegt ein Teil der östlich vom Hauptbahnhof verlaufenden Gleisstränge. Die Bahnemissionen auf den Trassen des DB Netz wurden dem Bahn-Emissionskataster-Schienenverkehr des Bahn-Umwelt-Zentrums der DB AG entnommen und basieren auf den Fahrplandaten des Jahres 2015 (vgl. Löchter et. al. 2007 S. 169 – 175).

**Tabelle 9:** Verkehrsdaten der untersuchten Straßen

Kategorie	Friedrich-Ebert-Straße	Marienstraße	Bornumer Straße	Göttinger Straße
Verkehrsstärke (DTV) [Kfz/d]	47.127 ¹⁾	41.955 ¹⁾	27.411 ¹⁾	30.868 ¹⁾
- Pkw	39.115	38.683	24.423	24.293
- Krad	236	210	137	154
- Bus	94	0	302	93
- leichte Nutzfahrzeuge [bis 3,5 t]	2.356	2.098	1.371	1.543
- schwere Nutzfahrzeuge [ab 3,5 t]	5.325	965	1.179	4.785
Straßentyp	Magistrale	Magistrale	HVS	Magistrale
zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	50	50	50	40
Anzahl Fahrspuren	4	4	4	4
Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs [%]:				
- freier Verkehr (LOS 1)	5	3,3	6,3	100
- dichter Verkehr (LOS 2)	65	96,7	93,7	0
- gesättigter Verkehr (LOS 3)	25	0	0	0
- Stop-and-go (LOS 4)	5	0	0	0
NO _x -Emission [g/(m·d)]	23,54	14,14	13,03	13,25
NO ₂ -Emission [g/(m·d)]	5,79	3,89	3,03	2,87

¹⁾ Abweichungen zu der Summe der einzelnen Fahrzeugkategorien sind durch die Rundung der Werte der einzelnen Fahrzeugkategorien begründet, die ursprünglich als Prozent des DTV angegeben sind.

4.2 Gebäudedaten

Die Bebauung im Randbereich von Straßen ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die Strömungsverhältnisse im Straßenraum und beeinflusst somit die Wind- und Turbulenzverhältnisse. Die Bebauung hat somit auch einen Einfluss auf die Ausbreitung und Verteilung von Luftschadstoffen im Straßenraum (vgl. Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 S. 22).

In dieser Untersuchung wird ein digitales Gebäudemodell verwendet. Für die Untersuchungsgebiete in Hannover wird auf Daten zurückgegriffen, welche vom GAA Hildesheim im Rahmen der Abschätzung der Luftschadstoffbelastung in Hannover beschafft wurden. Bei den Daten handelt es sich um Daten aus dem Jahr 2013. Das Gebäudemodell beinhaltet in Bezug auf die Gebäudehöhen Angaben zur First- und zur Traufhöhe der Gebäude. Reale Dachformen werden durch das Modell nicht abgebildet. Die in den MISKAM-Berechnungen berücksichtigten Gebäudehöhen entsprechen den Firsthöhen bzw. der Oberkante der Gebäude. Die Firsthöhen beschreiben die Dachhöhen in den untersuchten Straßenbereichen unter Berücksichtigung der vorliegenden Dachformen für die vorliegende Aufgabenstellung am besten. Da in Teilen der vier Untersuchungsgebiete seit 2013 bauliche Änderungen erfolgt sind, wurde das Gebäudemodell angepasst. Die Änderung des Gebäudemodells betreffen z. B. Bebauungen im südlichen Teil der Göttinger Straße.

4.3 Vegetationsdaten

Die Vegetation hat wie die Bebauung einen relevanten Einfluss auf die Strömungssituation und damit auf die Schadstoffausbreitung im Straßenraum (vgl. Strotkötter 2013).

In den zu untersuchenden Straßenräumen der vier Untersuchungsgebiete tritt die Vegetation in stark unterschiedlicher Form in Erscheinung. Die Anordnung der Vegetation in den Straßenräumen kann den Abbildungen 4, 9, 14 und 19 entnommen werden. In der Berechnung mit dem Modell MISKAM wird die Vegetation über zwei veränderliche Größen parametrisiert. Ein Parameter ist der Vegetationsbedeckungsgrad, der andere Parameter ist die Blattflächendichte. Die Ermittlung dieser Parameter wird nachfolgend beschrieben.

4.3.1 Vegetationsbedeckungsgrad

Der Vegetationsbedeckungsgrad gibt an, ob und in welchem Ausmaß eine Gitterzelle (in der Draufsicht) mit Vegetation bedeckt ist (vgl. Eichhorn 2011 S. 42).

Der Straßenraum der untersuchten Straßen wird im Modell je nach Untersuchungsgebiet mit einer Gitterweite von 1 m x 1,5 m oder 1 m x 2 m in der Horizontalen aufgelöst. Die Erhebung der räumlichen Ausdehnung der Vegetation in der Friedrich-Ebert-Straße erfolgte im Rahmen einer Masterarbeit (Strotkötter 2013) über vor-Ort-Erhebungen

und über die Auswertung eines aktuellen Orthofotos (siehe Abbildung 4). Für die Marienstraße, die Bornumer Straße und die Göttinger Straße wurden in 2019 ebenfalls vor-Ort-Erhebungen durchgeführt und aktuelle Luftbilder ausgewertet.

In der Friedrich-Ebert-Straße stehen Platanen an beiden Seiten der Straße und schirmen den Straßenraum nach oben hin in großen Teilen ab (siehe Abbildung 4). Der Kronenbereich der Platanen wird überwiegend mit einem Vegetationsbedeckungsgrad von 100 % angesetzt. In den Randbereichen der Baumkronen zur Straßenmitte und zur Gebäudeseite nimmt der Vegetationsbedeckungsgrad ab. Die Baumkronen grenzen hier zum Teil aneinander an, es existieren aber auch größere Öffnungen zwischen den Baumreihen. Dementsprechend kann für den Bereich zwischen den Baumreihen nicht von einer vollständigen Abdeckung ausgegangen werden kann. Dieser Bereich wird mit einem Vegetationsbedeckungsgrad von 50 % abgeschätzt.

In der Marienstraße stehen straßenbegleitend in unregelmäßigen Abständen Robinien (siehe Abbildung 9), zum Teil als Solitäräume, zum Teil zwei Bäume nebeneinander. Im Modell wurde der Kernbereich des Kronenraums berücksichtigt. Der Vegetationsbedeckungsgrad für diesen Bereich der Baumkronen der Robinien wird aufgrund der Kronenform durchgängig mit 100 % angesetzt.

In der Bornumer Straße ist Vegetation nur punktuell vorhanden. Zwischen dem Ende der Bebauung auf der nördlichen Seite und dem Deisterplatz stehen im Wesentlichen Platanen und Spitzahorn. Am westlichen Ende der nördlichen Bebauung stehen im Sporlederweg Schwedische Mehlbeeren und im weiteren Verlauf der Bornumer Straße Linden. Die Bäume stehen jeweils relativ dicht beieinander, die Baumkronen gehen zumeist ineinander über. Im Modell wird der Kronenraum dieser Bäume insbesondere auch aufgrund der kompakten Kronenform von z. B. Spitzahorn und Linde mit einem Vegetationsbedeckungsgrad von 100 % angesetzt.

Baumbestand in der Göttinger Straße gibt es nur im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes in Form von Platanen. In den Querstraßen der Göttinger Straße stehen zumeist in Reihen entlang der Straße Robinien. Die Kronen der Bäume gehen dabei in der Regel nicht ineinander über. Da sich diese Baumbestände zum Teil nicht im Zentrum des Rechengitters befinden, ist die räumliche Auflösung der Gitterzellen größer. Dies hat zur Folge, dass eine Differenzierung des Vegetationsbedeckungsgrades für die beschriebenen Bäume nicht zielführend ist. Der Vegetationsbedeckungsgrad wird für den Kernbereich des Kronenraums der Bäume mit 100 % angesetzt. Randbereiche der Kronen werden dabei zum Teil nicht miterfasst, was aber aufgrund des Abstandes zum Kernbereich des Rechengebiets bezogen auf das Berechnungsergebnis nicht von Relevanz ist.

4.3.2 Blattflächendichte

Die zweite Größe zur Parametrisierung der Vegetation ist die Blattflächendichte. Die Blattflächendichte (englisch Leaf area density – LAD) wird in Blattfläche (m^2) pro Volumen (m^3) angegeben. Die Blattfläche wird bei der Ermittlung der Blattflächendichte nur einseitig berücksichtigt, die Ausrichtung der Blätter ist in diesem Zusammenhang nicht von Bedeutung. Die Blattflächendichte berechnet sich aus dem Blattflächenindex (englisch Leaf area index – LAI) geteilt durch die Höhe (h) der Baumkrone:

$$LAD = \frac{LAI}{h} \left[\frac{m^2}{m^2 \cdot m} \right]$$

Als Höhe der Baumkrone wird in diesem Zusammenhang die vertikale Erstreckung zwischen dem Kronenansatz und dem Baumwipfel bezeichnet. Der LAI bezeichnet die Blattfläche, die ein Baum über der von seiner Krone überschirmten Bodenfläche im Luftraum entfaltet. Sie ist ein Maß für die Belaubungs- bzw. Kronendichte einer Baumart und wird in m^2 Blattfläche pro m^2 Bodenfläche angegeben (vgl. Roloff 2010 S. 27).

Die Quantifizierung des Parameters der Blattflächendichte erfolgt im vorliegenden Fall über Literaturwerte. Werte für den Blattflächenindex und zum Teil auch für die Blattflächendichte sind in verschiedenen Veröffentlichungen (Larcher 2001, Hagemeyer 2002, Langner 2006, Groß 1993) beschrieben. Sie beinhalten jedoch nur für wenige Baumarten belastbare Werte.

Der Parameter der Blattflächendichte ist für die zu betrachtende Vegetation für den belaubten und den unbelaubten Zustand zu ermitteln.

Für die zuvor genannten Baumbestände in den vier Untersuchungsgebieten werden die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Werte für die Blattflächendichte zugrunde gelegt. Eine ausführliche Ableitung der Werte für die Platane, die Linde und den Spitzahorn kann der zuvor genannten Masterarbeit (Strotkötter 2013) entnommen werden.

Für die Robinie und die Schwedische Mehlbeere wird analog zu der Vorgehensweise zur Ableitung eines LAD-Wertes für die Platane aus der genannten Masterarbeit verfahren, da sich für die beiden Baumarten aus der Literatur weder Werte für den Blattflächenindex (LAI) noch für die Blattflächendichte (LAD) entnehmen lassen. Dementsprechend erfolgt die Abschätzung der Blattflächendichte für diese beiden Baumarten über die Ausprägung der Baumkrone und den Lichtbedarf der Baumart.

Der Kronenraum der Robinie ist ähnlich wie der von Platanen weniger dicht verzweigt und belaubt als der einer Linde. Dazu ist der Kronenraum weniger kompakt als der der Linde. In der Literatur wird die Krone der Robinie als zumeist groß, überhängend und locker charakterisiert (vgl. Roloff 2013 S. 140). Die Krone der Linde wird dagegen als dicht geschlossen bezeichnet (vgl. Godet 2007 S. 54). Die Abbildung 21 veranschaulicht dieses.



Abbildung 21: *Blick in den Kronenraum einer Platane (Friedrich-Ebert-Straße) oben links, einer Linde (Bornumer Straße) oben rechts, einer Robinie (Marienstraße) unten links und einer Schwedischen Mehlbeere (Bornumer Straße) in der Vegetationsphase*

Eine Ursache für den Unterschied in der Belaubung ist nach hiesiger Einschätzung, dass es sich bei Robinien um eine Baumart mit einem hohen Lichtbedarf handelt (S. 198, Roloff 2013 S. 141). Lichtbedürftige Arten, wie z. B. auch Birken, weisen im Vergleich zu schattentoleranten Baumarten wie der Rotbuche oder der Sommerlinde einen niedrigeren Blattflächenindex auf. Nach Roloff (2001) kann der Blattflächenindex für lichtbedürftige Baumarten bis zu $5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ und für schattentolerante Arten bis zu $10 \text{ m}^2/\text{m}^2$ betragen (vgl. Roloff 2001 S. 27). Demzufolge wird für die Robinien in der Marienstraße ein geringerer Wert für die Blattflächendichte angesetzt als für die Linden.

Auf Basis der Darstellungen zur Kronendichte und Lichtbedarf wird für die Robinien eine mittlere Blattflächendichte von $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$ abgeleitet. Dieser Wert gilt während der Vegetationsphase im belaubten Zustand. Der hier zugrunde gelegte Mittelwert für die Blattflächendichte von $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ist um den Faktor 2 geringer als der für die Linden verwendete Wert und trägt dem Verhältnis der Blattflächenindizes für schattentolerante und lichtbedürftige Baumarten Rechnung.

Die Schwedische Mehlbeere ist im Vergleich zur Robinie und Platane ähnlich dicht verzweigt (siehe Abbildung 22). Ihr Kronenraum ist kompakter und sie bildet eine im Verhältnis mittelgroße dunkle Krone aus (vgl. Roloff 2013 S. 151).

Der Lichtbedarf der Schwedischen Mehlbeere wird in der Literatur vergleichbar zu dem einer Platane beschrieben. Nach Roloff (2013) ist der Lichtbedarf der Schwedischen Mehlbeere in der Jugend mäßig, ab frühem Alter jedoch hoch, so dass sie dann eine freie Krone benötigt. Die Schwedische Mehlbeere ist demnach eine lichtbedürftige Art. Wie oben aufgeführt, weisen lichtbedürftige Baumarten in der Regel einen niedrigeren Blattflächenindex auf.

Für die Schwedische Mehlbeere ist demnach aufgrund der vorliegenden Informationen davon auszugehen, dass für die Blattflächendichte ein vergleichbarer Wert wie für eine Platane anzusetzen ist. Auf Basis der Darstellungen zur Kronendichte und Lichtbedarf wird für die Schwedische Mehlbeere eine mittlere Blattflächendichte von $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$ abgeleitet. Dieser Wert gilt während der Vegetationsphase im belaubten Zustand.

Tabelle 10: Blattflächendichte für Vegetation im belaubten (LAD_b) und unbelaubten Zustand (LAD_u)

Baumart	LAD_b [m^2/m^3]	LAD_u [m^2/m^3]
Platane	0,7	0,2
Spitzahorn	1,3	0,4
Robinie	0,7	0,2
Linde	1,4	0,4
Schwedische Mehlbeere	0,7	0,2

4.4 Meteorologie

Zur Berechnung der Immissionskonzentration der Stickstoffoxide sind meteorologische Daten erforderlich. Konkret werden Angaben über die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit und die Stabilität der Atmosphäre benötigt. Diese Daten müssen die Situation im Untersuchungsgebiet möglichst exakt beschreiben. Für die in dieser Untersuchung vorgenommenen Berechnungen mit MISKAM werden Daten benötigt, die die ungestörten meteorologischen Verhältnisse über Dach beschreiben. Daher sind beispielsweise meteorologische Messdaten aus der Straßenschlucht selbst für die Berechnungen nicht verwendbar.

In dieser Untersuchung wird eine Ausbreitungsklassenzeitreihe (AKTerm) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Sie enthält für einen Zeitraum von einem Jahr stundenscharf Werte für die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit und die Monin-Obukhov-Länge, welche die Stabilität der Atmosphäre beschreibt.

Meteorologische Messungen in den vier Untersuchungsgebieten in Hannover liegen nicht vor. Als meteorologische Eingangsdatei für die MISKAM-Berechnungen wird die Ausbreitungsklassenzeitreihe der DWD Station Hannover aus dem Bezugsjahr 2018 verwendet. In Tabelle 11 sind die wesentlichen Kenndaten der Station dargestellt, die der Stationsbeschreibung des DWD entnommen wurden.

Tabelle 11: Kenndaten der DWD-Station Hannover

Stationsname (Stationsnummer nach WMO)	Hannover (10338)
Lage des Messortes (Gauß-Krüger-Koordinaten)	RW: 3 546 775 HW: 5 814 704
Rauigkeitslänge	0,1 m
Höhe des Stationsstandortes (NHN)	55 m
Anemometerhöhe	10 m
Räumliche Repräsentanz	überregional

Die Station des DWD befindet sich auf dem Gelände des Flughafens Hannover in Langenhagen im Bereich des Flugfeldes. Das Umfeld der Messstation ist eben und durch eine geringe Rauigkeit gekennzeichnet. Die Verhältnisse am Standort der meteorologischen Messung unterscheiden sich in Bezug auf die Rauigkeit stark von denen in den innerstädtischen Untersuchungsgebieten.

Die Windrichtungsverteilung der Station Hannover-Langenhagen für das Jahr 2018 ist zusammen mit einer langjährigen Verteilung (Bezugszeitraum 2007 – 2016) in Abbildung 22 dargestellt. Die Windrichtungsverteilung für das Bezugsjahr 2018 weist Besonderheiten dahingehend auf, dass östliche Windlagen in 2018 im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich überrepräsentiert sind. Das primäre Maximum der Verteilung liegt für das Jahr 2018 in Ost, wobei es sonst in West liegt. Beim sekundären Maximum verhält es sich entsprechend umgekehrt, für 2018 liegt es in West, in der langjährigen Verteilung in Ost. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt in 2018 bei $3,9 \text{ m/s}$ und entspricht damit gut dem langjährigen Mittel der Station, welches für den Zeitraum 2007 bis 2016 bei $3,8 \text{ m/s}$ liegt.

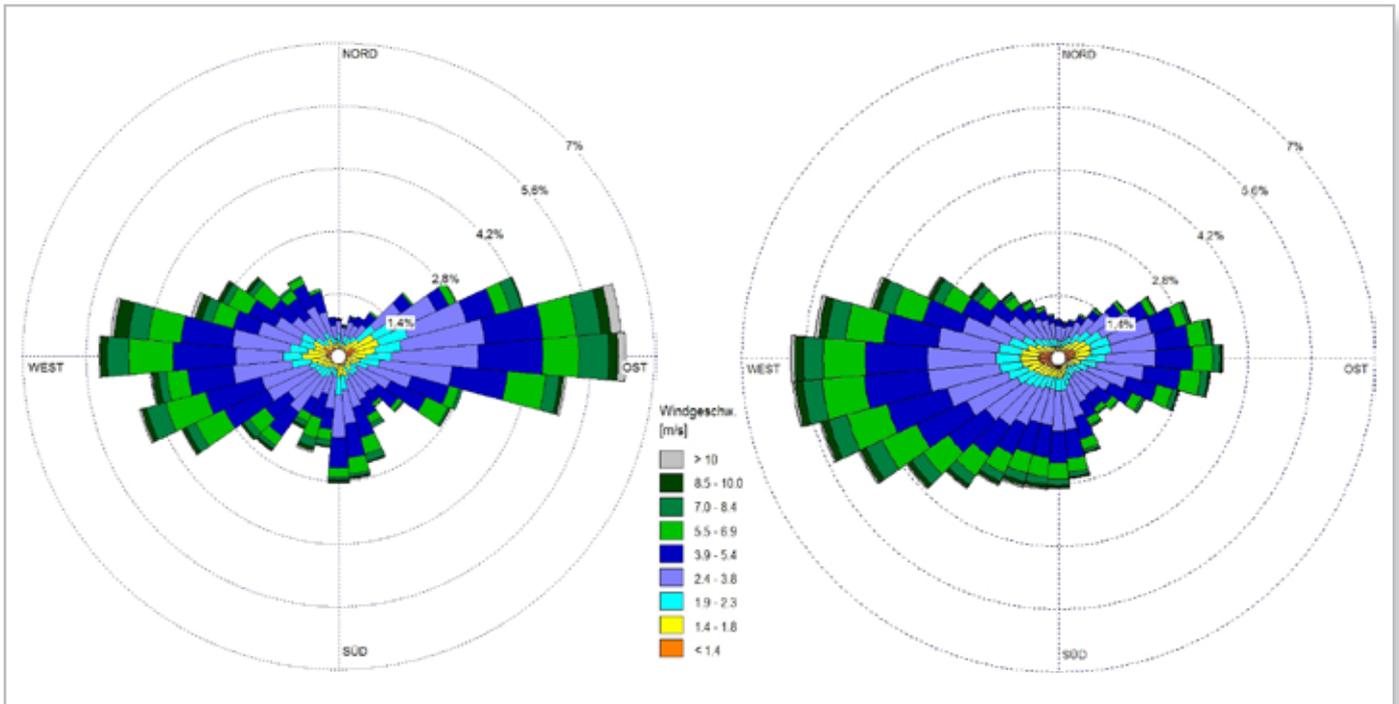


Abbildung 22: Windrichtungsverteilung der DWD Station Hannover für das Jahr 2018 (links) und den Zeitraum 2007 bis 2016 (rechts)

Entscheidend für die Verwendbarkeit der zuvor dargestellten meteorologischen Daten ist die Repräsentativität der Daten für das Untersuchungsgebiet. Die Daten müssen die ungestörten Verhältnisse über Dach im Untersuchungsgebiet möglichst gut wiedergeben. Die Station des DWD am Flughafen Hannover liegt frei und weist in einem Radius von 250 m keine Strömungshindernisse auf, welche einen maßgeblichen Einfluss auf die Windrichtungsverteilung haben. Entsprechend der Kriterien der Richtlinie VDI 3786 Blatt 2 ist das Gelände um den Messort als hindernisfrei zu bezeichnen. Die Station repräsentiert nach Ansicht des Verfassers die großräumige Windrichtungsverteilung für das Stadtgebiet Hannover und ist daher geeignet, die meteorologischen Verhältnisse über Dachniveau im Untersuchungsgebiet zu beschreiben.

Die Verwendung der Zeitreihe aus dem Jahr 2018 ist in dieser Untersuchung sachgerecht, da die Konzentrationsverteilung in den Untersuchungsschwerpunkten bezogen auf das Bezugsjahr 2018 ermittelt wird. Eine Verwendung von langjährig repräsentativen Daten ist in diesem Zusammenhang nicht zielführend.

4.5 Modellparameter

Neben den zuvor beschriebenen Ausgangsdaten für die Untersuchung sind für die Durchführung der Berechnungen mit dem Modell MISKAM weitere Modell- und Steuerparameter anzugeben bzw. zu wählen. Nachfolgend werden die wesentlichen Parameter dargestellt.

4.5.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung

Die Größe der Rechengebiete beträgt für die vier Untersuchungsgebiete zwischen 700 m x 900 m bzw. 800 m x 1.000 m in der Horizontalen und 500 m in der Vertikalen. Die Rechengebiete sind in Bezug auf die Hauptachse am Straßenverlauf der jeweiligen Straße (Friedrich-Ebert-Straße, Marienstraße, Bornumer Straße und Göttinger Straße) orientiert. Diese Art der Dimensionierung und Ausrichtung ermöglicht eine realitätsnahe Modellierung des Strömungsfeldes in den zu untersuchenden Straßenbereichen. Mit der gewählten vertikalen Ausdehnung von 500 m wird zudem die Randbedingung zur Anwendung des Modells, dass die maximale Gebäudehöhe nicht mehr als 30 % der Modellhöhe betragen darf, eingehalten (vgl. Eichhorn 2011 S. 40). Die maximale Gebäudehöhe tritt im Untersuchungsgebiet Friedrich-Ebert-Straße auf und beträgt 46 m.

Die Gitterweite der Rechengebiete ist nicht äquidistant. In den Kernbereichen der Rechengebiete beträgt die räumliche Auflösung in der Horizontalen 1 m x 1,5 bzw. 2 m. Dabei wird die Straßenschlucht in ihrer Breite in 1 m-Schritten und in Längsrichtung in 1,5 bzw. 2 m-Schritten aufgelöst. Dieser Ansatz erfüllt die Anwendungsvoraussetzungen des Modells, nach der relevante Straßenschluchten quer zu ihrer Längsachse mit mindestens 6 bis 8 Gitterboxen aufgelöst werden sollen (vgl. Eichhorn 2011 S. 40). Die Gitterweiten erhöhen sich bis zu den Rändern der Rechengebiete auf maximal 7 m x 7 m. In der Vertikalen ist das Rechengitter bodennah mit einer Gitterweite von 0,6 m aufgelöst. Diese Auflösung wird bis in eine Höhe von 4,8 m konstant gehalten und dann sukzessive vergrößert.

4.5.2 Rauigkeitslänge

Im Modell MISKAM sind neben der Angabe der Bodenrauigkeit im Untersuchungsgebiet auch Angaben zur Wand- und Dachrauigkeit der Gebäude erforderlich.

Die Bodenrauigkeit wird in den Berechnungen als konstanter Wert für das gesamte Modellgebiet vorgegeben. Dabei ist zu beachten, dass dieser Wert die Flächen charakterisiert, welche nicht über die Modellierung der Bebauung und der Vegetation erfasst sind. Dies sind im Wesentlichen versiegelte Flächen wie Straßen oder unversiegelte Flächen wie Rasen- oder Parkflächen, welche nicht explizit aufgelöste Strömungshindernisse wie Sträucher und Gebüsche beinhalten können. Die Wand- und Dachrauigkeit wird ebenfalls als konstanter Wert für alle Gebäude vorgegeben. Im MISKAM-Handbuch wird eine Zuordnung von Rauigkeitslängen zu Flächennutzungstypen vorgenommen, welche in der nachfolgenden Tabelle dargestellt ist (vgl. Eichhorn 2011 S. 39).

Tabelle 12: Bodentypen und Rauigkeitslängen nach Eichhorn (2011)

Flächennutzungstyp	Rauigkeitslänge [cm]
Asphalt oder ähnliches ohne Hindernisse	1
Wiese	5
Wiese mit Einzelbäumen, Gebüsch	10
Dichtere niedrige Vegetation	25
Niedrige nicht explizit aufgelöste Bebauung	50
Höhere nicht explizit aufgelöste Bebauung	100

Entsprechend der dargestellten Zuordnung wurde die Bodenrauigkeit in den Modellgebieten mit 10 cm berücksichtigt. Dieser Wert entspricht dem Flächennutzungstyp „Wiese mit Einzelbäumen, Gebüsch“ und charakterisiert die mittlere Flächennutzung in den vier Untersuchungsgebieten am zutreffendsten. Für die Gebäudewände und die Dachflächen wurde eine Rauigkeitslänge von 1 cm gewählt. Dieser Wert repräsentiert den Flächennutzungstyp „Asphalt oder ähnliches ohne Hindernisse“ und stellt eine hinreichend genaue Beschreibung der Rauigkeit von Gebäudewänden und Dachflächen dar.

4.5.3 Modellierung der Emissionsquellen

Die Quellmodellierung der Verkehrsemissionen erfolgte in den durchgeführten Berechnungen in Form von Volumenquellen. Die im Straßenraum freigesetzten Emissionen der Fahrzeuge wurden in den Kernbereichen der Untersuchungsgebiete fahrspurfein aufgelöst. Die Abbildung der Emissionen auf das jeweilige Rechengitter erfolgte in der

Form, dass die Emissionen der Fahrspuren auf die Zellen aufgeteilt wurden, welche von der Fahrspur geschnitten wurden. Nicht vollständig von einer Fahrspur überdeckte Zellen wurde entsprechend des Flächenanteils ein kleinerer Emissionsanteil zugeordnet. In der Vertikalen wurde die Emission nicht ausschließlich bodennah angesetzt, sondern über eine Höhe von 3 m verteilt. Damit wird der räumlichen Verteilung der Emission durch den fließenden Verkehr (Umströmung der Fahrzeuge) Rechnung getragen, welche im Modell nicht in der Form berücksichtigt werden kann. Die Aufweitung der Emission in der Vertikalen auf 3 m wird für alle vier Untersuchungsgebiete vorgenommen. Grundlage dieser Parametrisierung sind Erkenntnisse aus dem Projekt VALIUM (2003), welche in die Praxis der Emissionsmodellierung bei Straßen im Zusammenhang mit der Anwendung des Modells MISKAM eingeflossen sind.

4.5.4 Steuerparameter

Zur Durchführung der Strömungs- und der Ausbreitungsrechnung sind im Modell MISKAM Steuerparameter zu wählen. Diese sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Steuerparameter der Strömungsberechnung

Steuerparameter	Wert
Abbruchkriterium	Stationarität
Maximale Anzahl an Zeitschritten	9999
Rauigkeitslänge des Initialwindfeldes	10 cm
Anemometerhöhe	100 m
Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe	5 m/s
Schichtung	0 K/100 m
Advektionsschema	
- Impuls	Upstream
- Turbulenz	Upstream

Die Strömung innerhalb der Rechengebiete wurde für 36 Windrichtungen in 10°-Schritten berechnet.

Als Abbruchkriterium kann entweder eine feste Zeit oder das Kriterium der Stationarität gewählt werden. Bei dem hier gewählten Kriterium Stationarität wird die Strömungsrechnung dann abgebrochen, wenn

- das Maximum der relativen Änderungen (Änderung pro Zeitschritt / Einströmwindgeschwindigkeit in 10 m Höhe) der drei Windkomponenten,
- sowie die maximale Änderung der Diffusionskoeffizienten, ebenfalls bezogen auf den Einströmwert in 10 m Höhe

0,1 % unterschreiten (vgl. Eichhorn 2011 S. 47).

In der Strömungsberechnung wird für jeden Anströmwinkel die Windgeschwindigkeit mit 5 m/s in einer Höhe von



100 m angenommen. Dies entspricht nicht den typischen Verhältnissen in dem betrachteten Untersuchungsgebiet, ist jedoch unproblematisch, da die Ergebnisse später auf die Werte der tatsächlich auftretenden Windgeschwindigkeiten skaliert werden. Die tatsächlichen Windgeschwindigkeiten werden der Ausbreitungsklassenstatistik entnommen.

In der Strömungsberechnung werden in Bezug auf die atmosphärische Schichtung neutrale Verhältnisse (0 K/100 m) zugrunde gelegt.

Als Schema für Impuls- und Turbulenzadvektion wurde das Upstream-Schema verwendet.

Die für die Ausbreitungsrechnungen anzusetzenden Parameter sind in der nachfolgenden Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Steuerparameter der Ausbreitungsrechnung

Steuerparameter	Wert
Abbruchkriterium	Stationarität S1
Maximale Anzahl an Zeitschritten	9999
Advektionsschema	Upstream

Als Abbruchkriterium wurde die Option Stationarität S1 verwendet, welche nach Angaben des Modellentwicklers für Straßennetze und Linienquellen vorgesehen ist (vgl. Eichhorn 2011 S. 47).

Die Angabe der maximalen Anzahl an Zeitschritten legt fest, wann die Ausbreitungsberechnung spätestens beendet wird, wenn das gewählte Stationaritätskriterium noch nicht erreicht ist. Die Angabe 9999 ist die maximal mögliche Anzahl an Zeitschritten.

Als Advektionsschema wurde das Upstream-Schema gewählt, dass entsprechend der Empfehlung des Modellentwicklers für Linienquellen wie Straßen als geeignet angesehen wird (vgl. Eichhorn 2011 S. 31).

Als weiterer Steuerungsparameter wird im Rahmen der Berechnung der Immissionskenngrößen die verkehrserzeugte Turbulenz berücksichtigt. Die nachfolgend dokumentierten Angaben entsprechen dem derzeitigen Wissensstand zur Berücksichtigung des Einflusses verkehrserzeugter Turbulenz im Straßenraum. Anzumerken ist hier, dass die Bestimmung des Einflusses fahrzeugerzeugter Turbulenz und deren Berücksichtigung in der Ausbreitungsrechnung gegenwärtig noch Gegenstand der Forschung ist (vgl. Lohmeyer 2013, S. 82).

Tabelle 15: Steuerparameter verkehrserzeugte Turbulenz

Steuerparameter	Wert
Schwellengeschwindigkeit [m/s]	3,8
Exponent	0,35
Additive Geschwindigkeitskonstante [m/s]	0

Entsprechend dieser Parameter erfolgt die Konzentrationsskalierung oberhalb der Schwellengeschwindigkeit von 3,8 m/s in 100 m Höhe umgekehrt proportional zur Windgeschwindigkeit und unterhalb dieser Schwellengeschwindigkeit proportional der Windgeschwindigkeit $u^{-0,35}$ (vgl. Lohmeyer 2013, S. 82).

5. Berechnungsszenarien und -ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die berechneten Varianten und die Ergebnisse der Strömungs- und Ausbreitungsrechnungen für die vier Untersuchungsschwerpunkte in Hannover beschrieben.

Für die Untersuchungsgebiete wurden jeweils zwei Strömungsberechnungen durchgeführt, jeweils eine für den belaubten Vegetationszustand und eine für den unbelaubten Vegetationszustand. Für jede dieser Varianten wurden zwei Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Eine Berechnung hat die Ausbreitung der Stickstoffoxide (NO_x) zum Gegenstand, die andere die Ausbreitung des direkt emittierten Stickstoffdioxids (NO_2). Aus den beiden Ausbreitungsrechnungen wird dann über den Ansatz von Düring (2011) die Stickoxidkonversion vorgenommen und eine NO_2 -Konzentration berechnet, welche Grundlage der weiteren Auswertungen ist. Anschließend wird aus den beiden Ergebnissen für die zwei Vegetationssituationen ein Mittelwert für das Jahr gebildet.

Nachfolgend wird zunächst die Methodik zur Ermittlung der Vor- und Gesamtbelastung dargestellt, welche Grundlage der nachfolgenden Auswertungen ist.

5.1 Methodik zur Ermittlung der Vor- und Gesamtbelastung

Für den Vergleich mit den Messwerten ist neben dem mit MISKAM berechneten Immissionsbeitrag des Untersuchungsgebietes eine Vorbelastung zu ermitteln, welche sich aus einem großräumigen bzw. regionalen Anteil und einem städtischen Anteil zusammensetzt. Die Abbildung 23 zeigt beispielhaft die Zusammensetzung der NO_x - bzw. NO_2 -Immission innerhalb eines Stadtgebietes sowie eine Zuordnung zu den nachfolgend erläuterten Ermittlungswegen.

Der mit den MISKAM-Berechnungen ermittelte Immissionsbeitrag beinhaltet bereits einen Teil des städtischen Hintergrundes, da das Untersuchungsgebiet neben dem Untersuchungsschwerpunkt noch weitere Straßen und somit Emissionsquellen beinhaltet. Dementsprechend sind der regionale Anteil der Hintergrundbelastung sowie der in der jeweiligen MISKAM-Rechnung nicht berücksichtigte städtische Anteil zu bestimmen.

Der regionale Anteil wird aus einem Datensatz entnommen, der vom Umweltbundesamt über einen Kartendienst zur Luftschadstoffbelastung in Deutschland bereitgestellt wird. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde auf flächenbezogene Angaben zur NO_2 -Immission (vgl. UBA 2019) aus dem Datensatz für das Jahr 2016 zurückgegriffen. Aktuellere Daten waren zum Zeitpunkt der Berichtserstellung über den Kartendienst nicht verfügbar. Die Werte für die NO_2 -Immission werden auf Basis von statistischen Zusammenhängen in eine NO_x -Immission umgerechnet. Dies ist erforderlich, da die Modellrechnungen auch NO_x -Konzentrationen erzeugen. Zur Umrechnung wird das Verhältnis von NO_2 zu NO_x aus den Hintergrundstationen des LÜN aus den Jahren 2016 bis 2018 zugrunde gelegt. Auf Basis dieses Ansatzes wird der regionale Anteil mit einer NO_2 -Konzentration von $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einer NO_x -Konzentration von $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quantifiziert.

Der in den MISKAM-Berechnungen nicht berücksichtigte Anteil des städtischen Hintergrundes wird über eine Ausbreitungsrechnung mit einem Gauß-Modell ermittelt. Dazu wurde das Programm IMMIS^{net} verwendet. Als Emissionsdaten werden alle Emissionsquellen aus dem Verkehr, dem Hausbrand sowie der Industrie und dem Gewerbe berücksichtigt, welche nicht Teil des Rechengebietes der MISKAM-Berechnungen sind. Die Berücksichtigung der Be-

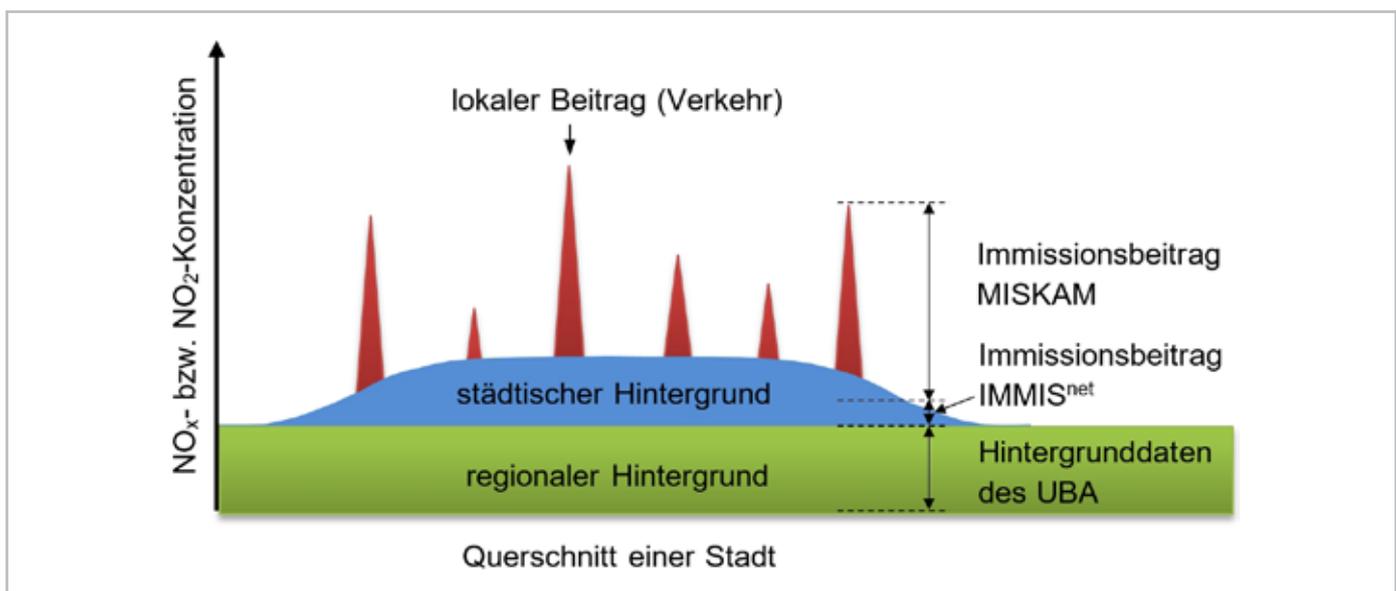


Abbildung 23: Zusammensetzung der NO_2 -Immission innerhalb eines Stadtgebietes (vgl. Lenschow et al. 2001, geändert)



bauung erfolgt über den Parameter der Rauigkeitslänge. Als meteorologische Datenbasis wurde die im Abschnitt Meteorologie dargestellte Ausbreitungsklassenstatistik des DWD verwendet. Das verwendete Gauß-Modell ist entsprechend der Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 geeignet, die Immissionsbeiträge der Quellen, die eine Entfernung von 400 m und mehr zum jeweiligen Untersuchungsschwerpunkt aufweisen, in ausreichender Qualität zu berechnen (vgl. Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 2016 S.2).

Die rechnerische Gesamtbelastung, die sich aus den drei zuvor beschriebenen Teilbelastungen zusammensetzt, wird als Konzentration von NO_x bestimmt. In den Untersuchungsschwerpunkten Friedrich-Ebert-Straße, Marienstraße und Bornumer Straße wird vom LÜN mittels Passivsammlern die NO_2 -Konzentration, in der Göttinger Straße mittels eines automatisch arbeitenden Messgerätes die NO_x - und die NO_2 -Konzentration gemessen. Rechtlich geregelt in Bezug auf den Schutz der menschlichen Gesundheit ist in der 39. BImSchV die Konzentration von NO_2 . Der Vergleich der berechneten mit der gemessenen Gesamtbelastung erfolgt auf Basis der NO_2 -Konzentration. Dazu ist eine Umrechnung der berechneten NO_x -Gesamtbelastung auf eine NO_2 -Gesamtbelastung erforderlich. In der Praxis existieren verschiedene Ansätze, die je nach Aufgabenstellung und den zur Verfügung stehenden Daten (Stundenmittelwerte/Jahresmittelwerte) angewendet werden. Im Wesentlichen lassen sich zwei Arten von Ansätzen unterscheiden. Zum einen werden Ansätze wie der von Romberg (1996) verwendet, bei denen davon ausgegangen wird, dass das Verhältnis von NO_2 zu NO_x in erster Näherung eine Funktion des Jahresmittelwerts der NO_x -Gesamtbelastung ist (vgl. Neunhäuserer et al. 2011 S. 23). In Abhängigkeit von dem zugrundeliegenden Datenkollektiv unterscheiden sich die Parametrisierungen dieser Ansätze. Ein anderer Ansatz ist der von Düring et al. (2011), welcher ein vereinfachtes Chemiemodell auf Basis der Jahresmittelwerte der NO_x -, NO_2 - und Ozon-Hintergrundbelastung aus Messungen der Luftqualitätsmessstationen der Bundesländer sowie der primären NO_2 -Emission parametrisiert (vgl. Düring et al. 2011 S. 67).

Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Ansatz von Düring et al. (2011) verwendet, welcher im Rahmen der Untersuchung von Neunhäuserer et al. (2011) als der geeignetste Ansatz zur Bestimmung der NO_2 -Gesamtbelastung auf Basis von Jahresmittelwerten im Straßenraum eingestuft wird (vgl. Neunhäuserer 2011 S. 31). Die zur Ermittlung der NO_2 -Gesamtbelastung verwendeten Werte für die Hintergrundbelastung für NO_x , NO_2 und Ozon sind der Tabelle 16 zu entnehmen.

Die Ozon-Konzentration wird an den vier Untersuchungsschwerpunkten nicht gemessen. An der LÜN-Station im städtischen Hintergrund, die in der Straße Am Lindener Berge im Stadtteil Linden steht, wird Ozon gemessen. Der Jahresmittelwert dieser Probenahmestelle aus 2018 ist in Tabelle 16 dargestellt und wird zur Ermittlung der Gesamtbelastung von NO_2 berücksichtigt.

5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten des LÜN

Im Rahmen des Vergleichs werden die für das Jahr 2018 berechneten Immissionsbeiträge der NO_2 -Gesamtbelastung dem jeweiligen Messwert der NO_2 -Messung aus 2018 gegenübergestellt.

Für die vier Untersuchungsschwerpunkte wurde die NO_2 -Gesamtbelastung jeweils aus den beiden Berechnungsvarianten mit Vegetation im belaubten Zustand und mit Vegetation im unbelaubten Zustand gebildet. Der Zeitraum der Belaubung wird für die in den Untersuchungsgebieten dominanten Baumarten (u. a. Platanen und Robinien) auf Basis der Arbeit von Lauscher mit sechs Monaten abgeschätzt (vgl. Lauscher 1988 S. 96). Dabei wird der Zeitraum vom Beginn der Belaubung bis zur 50 prozentigen Entlaubung zugrunde gelegt.

Die berechneten Immissionsbeiträge und die Werte der NO_2 -Messungen an den Untersuchungsschwerpunkten sind in der Tabelle 17 dargestellt. Die Messwerte und Modellierungswerte sind dabei aufgrund der Unsicherheiten der Ermittlungsverfahren nicht mit Nachkommastellen angegeben. Der Wert für die berechnete NO_2 -Gesamtbelastung beinhaltet die Beiträge des regionalen und städtischen Hintergrundes.

Der Vergleich der modellierten Werte mit den Werten der LÜN-Messungen zeigt in weiten Teilen eine sehr gute Übereinstimmung.

Für die Friedrich-Ebert-Straße und die Marienstraße zeigt sich in der gerundeten Kenngröße keine Differenz zwischen Mess- und Modellwert.

In der Bornumer Straße wird der Messwert durch den Modellwert deutlich unterschätzt. Hier wird davon ausgegangen, dass für die Modellierung durch eine verbesserte Emissionsverteilung auf den Fahrspuren der Bornumer Straße noch Verbesserungspotential besteht. In der Berechnung wurden die Emissionen auf die vier Fahrspuren gleichmäßig verteilt, da keine näheren Informationen zur Verteilung von Pkw und insbesondere der Lkw auf die Fahrspuren vorlagen.

Tabelle 16: Datenbasis zur Ermittlung der Gesamtbelastung mittels des Chemiemodells nach Düring (2011)

Komponente	Friedrich-Ebert-Straße	Marienstraße	Bornumer Straße	Göttinger Straße
NO_x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27	34	28	29
NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	21	26	23	23
O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	55	55	55	55

Tabelle 17: Berechnungs- und Messergebnisse für die vier Hannoveraner Untersuchungsgebiete

Art des Immissionsbeitrags	Friedrich-Ebert-Straße	Marienstraße	Bornumer Straße	Göttinger Straße
Berechnete NO ₂ -Gesamtbelastung als gewichtetes Mittel der Berechnungsvarianten belaubt/unbelaubt in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	47	45	39	44
Jahresmittelwert der NO ₂ -Messung des LÜN in 2018 in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	47	45	45	42
Differenz zwischen Messwert und berechnetem Wert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0	0	6	2
Auf den Grenzwert der 39. BImSchV bezogene Abweichung des Modellwertes vom Messwert in [%]	0	0	15	5

Erste punktuelle Beobachtungen in der Bornumer Straße zeigen jedoch, dass die Verteilung auf den aus dem Kreisverkehr am Deisterplatz in die Bornumer Straße hineinführenden Fahrspuren nicht gleichverteilt sind und auf der nördlichen, dem Messpunkt nächstgelegenen Spur, der Großteil der Lkw fährt.

Für die Göttinger Straße überschätzt die Modellierung die Messung bezogen auf die gerundeten Kenngrößen lediglich um $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, was eine gute Übereinstimmung darstellt.

Insgesamt ist die Abweichung zwischen Modell- und Messwerten für alle Werte hinreichend gut. Zur Einordnung der Abweichungen wird auf die Luftqualitätsrahmenrichtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 2008/50/EG) hingewiesen, welche in Anlage 1 als Datenqualitätsziel für Luftqualitätsbeurteilung eine Unsicherheit der Modellrechnung von 30 % in Bezug auf den Jahresmittelwert für NO₂ verlangt (vgl. Richtlinie 2008/50/EG 2008 S. 14). Dieser Wert wird für alle vier Messpunkte deutlich unterschritten.

5.3 Qualitative Darstellung der räumlichen Konzentrationsverteilung im Straßenraum

Die Darstellung der Konzentrationsverteilung von NO₂ im Straßenraum der Untersuchungsschwerpunkte erfolgt in diesem Bericht ausschließlich auf Basis der errechneten Konzentrationswerte. In diesem Abschnitt werden im Wesentlichen qualitative Darstellungen der Konzentrationsverteilung dargestellt. Zum einen wird dafür ein Horizontalschnitt in Höhe der Messung für den im Sinne der Standortbeschreibung der Probenahmestelle zu betrachtenden Straßenabschnitt genutzt (siehe Abbildungen 24, 28, 32 und 36). Dargestellt wird dabei jeweils die Gesamtbelastung für NO₂ als Mittelwert der Berechnungsvarianten (belaubt/unbelaubt). Die diesbezüglichen Kartendarstellungen sind jeweils eingeordnet.

Als weitere Darstellungsform werden Vertikalschnitte verwendet. Die in den Abbildungen 25, 29, 33 und 37 dargestellten Vertikalschnitte sind quer zur Fahrbahn mit einer vertikalen Ausdehnung vom Erdboden bis zur Ge-

bäudeoberkante und einer horizontalen Ausdehnung mit straßenparalleler Bebauung und, sofern vorhanden, straßenparallelem Bewuchs gelegt. Aus diesen Vertikalschnitten lässt sich die Konzentrationsverteilung über den Straßenquerschnitt erkennen. Eine zweite Darstellungsform zeigt in den Abbildungen 27, 28, 31, 32, 35, 36 und 39 Vertikalschnitte, die in den Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade gelegt wurden. Dargestellt ist dabei in der Regel die den Gebäuden drittnächst gelegene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist oder bei größeren Abständen der Gebäude zur Fahrbahn die Gitterreihe im Abstand von im Mittel 9,5m.

Für die Vertikalschnitte wird jeweils beispielhaft die Konzentrationsverteilung für die Berechnungsvariante mit Vegetation im unbelaubten Zustand dargestellt, da für die Vertikalschnitte im Programm WinMISKAM keine Möglichkeit der Mittelung zwischen zwei Rechenläufen besteht.

Zur Interpretation der dargestellten Konzentrationsdarstellungen sind die Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft der gebäudenahen Zellen zu beachten (siehe Abschnitt Anwendungsgrenzen).

5.3.1 Konzentrationsverteilung in der Friedrich-Ebert-Straße

Die Abbildung 24 zeigt die Konzentrationsverteilung in der Horizontalen in der Messhöhe von 2,7 m.

Die Abbildung zeigt, dass die höchsten Konzentrationen im Fahrbahnbereich auftreten. Vom Fahrbahnrand bis zur straßenbegleitenden Bebauung bildet sich ein Konzentrationsgefälle aus, das in Abhängigkeit von der Entfernung der Bebauung zum Fahrbahnrand unterschiedliche Konzentrationsspannen aufweist. Der Abstand der östlichen Bebauungsseite zum Fahrbahnrand ist mit 9,5 m deutlich geringer als der der westlichen mit 17,5 m. Dementsprechend treten die höchsten Konzentrationen vor der Bebauung auf der östlichen Seite auf.

Bei der Interpretation der Konzentrationsdarstellung ist zu beachten, dass für eine Auswertung bezogen auf die Bebauungslinie, die den Gebäuden nächstgelegenen



zwei Gitterreihen nicht verwendet werden können (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen).

Auskunft über die Verteilung der NO_2 -Konzentration in der Vertikalen innerhalb des Straßenraums der Friedrich-Ebert-Straße geben die Abbildungen 25, 26 und 27.

Die Abbildung 25 zeigt einen Vertikalschnitt quer zur Fahrbahn in der Friedrich-Ebert-Straße. In diesem Vertikalschnitt sind die Zellen, die Gebäude enthalten grau eingefärbt. Der Bereich der Fahrbahn ist durch eine schwarze Linie und die Lage der Messung des LÜN mit einem schwarzen Pfeil gekennzeichnet. Zellen mit Vegetation sind in der Abbildung nicht gekennzeichnet, da sie in diesem Fall die Erkennbarkeit der Konzentrationsverteilung erschweren. Die Zellenbreite in der Horizontalen beträgt 1 m. In der Vertikalen beträgt die Gitterweite bodennah 0,6 m; sie vergrößert sich mit anwachsender Höhe.

Der Vertikalschnitt quer zur Fahrbahn lässt erkennen, dass die NO_2 -Konzentration boden- und quellnah am größten ist. Dies ist plausibel, da es sich beim Kraftfahrzeugverkehr um Quellen handelt, die bodennah emittieren. Ebenso erkennbar ist auch hier der Gradient, der sich mit steigender Entfernung von der Fahrbahn ausbildet. Das Konzentrationsgefälle wird dabei mit steigendem Abstand von der Fahrbahn geringer. Aufgrund der unsymmetrischen Lage der Straße zwischen den Bebauungsreihen und der daraus folgenden größeren Nähe der Fahrbahn zur östlichen Bebauungsseite, sind auf dieser Seite die höchsten Konzentrationen an der Bebauung zu erkennen.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 26 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebädefassade auf der östlichen Straßenseite. Dargestellt ist die den Gebäuden drittnächst gelegene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist.

Wie beim Vertikalschnitt quer zur Straße zeigt sich die höchste NO_2 -Konzentration bodennah. Mit steigender Höhe nehmen die Konzentrationsdifferenzen zwischen den einzelnen Höhenschichten ab. Bezogen auf den Straßenverlauf ist wie auch aus dem Horizontalschnitt in Abbildung 24 erkennbar, dass das Maximum vor den Gebäuden nicht in der Mitte der Bebauungsreihe liegt, sondern etwas in Richtung Norden zur Konrad-Hänisch-Straße hin verlagert ist. Der dritte Vertikalschnitt in Abbildung 27 liegt zwischen Fahrbahn und Bebauung im Abstand von 9,5 m zur Fahrbahn und ca. 8 m zur Bebauung. Hier zeigt sich die zuvor beschriebene Konzentrationsverteilung in der Vertikalen nur auf einem geringeren Niveau als auf der Westseite. Dies ist im Wesentlichen in der besseren Durchlüftung des westlichen Straßenbereichs begründet, da hier die Bebauung deutlich weiter von der Straße entfernt ist als auf der Ostseite. Bebauung deutlich weiter von der Straße entfernt ist als auf der Ostseite.

Eine detailliertere Betrachtung der Konzentrationsverhältnisse vor der Bebauungslinie erfolgt im Abschnitt 5.4.



Abbildung 24: NO₂-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Friedrich-Ebert-Straße in Höhe der Messung (2,7 m)

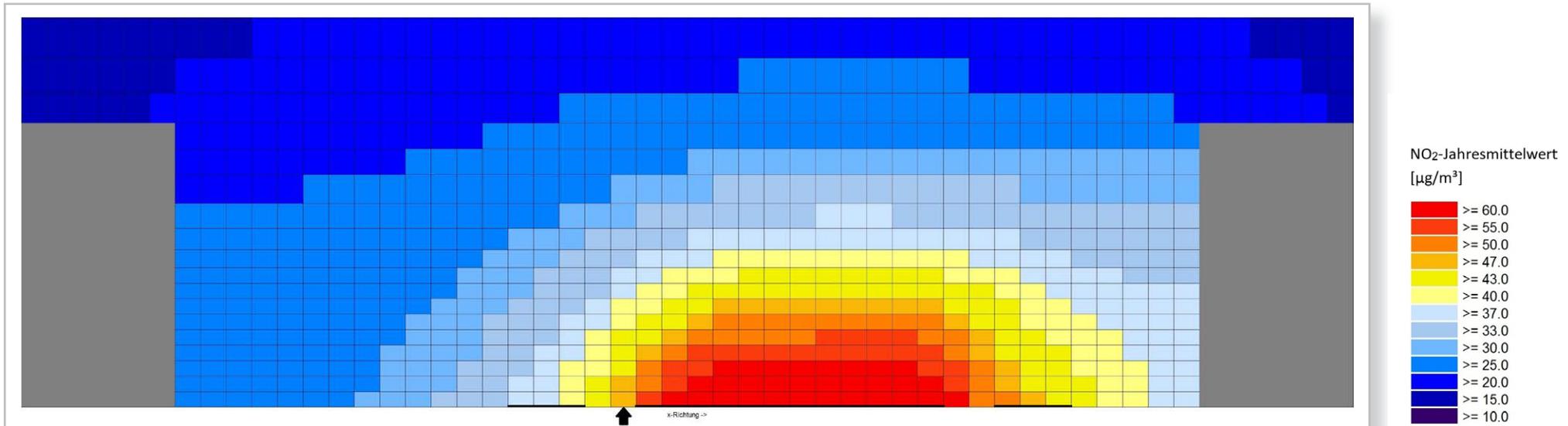


Abbildung 25: NO₂-Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Friedrich-Ebert-Straße im Bereich der NO₂-Messung über eine Höhe von 0 bis 15 m (Darstellung mit Blickrichtung Nord)

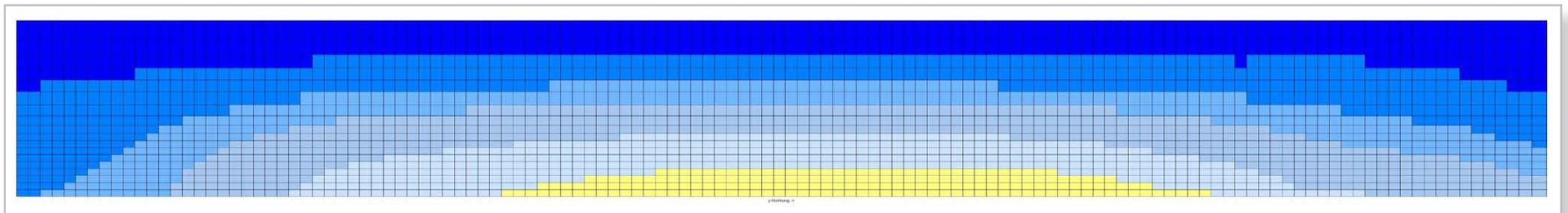


Abbildung 26: NO₂-Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbegleitenden Bebauung auf der östlichen Seite zwischen Bangemannweg (links) und Konrad-Hänisch-Straße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 15 m (Legende: Siehe Abbildung 25)

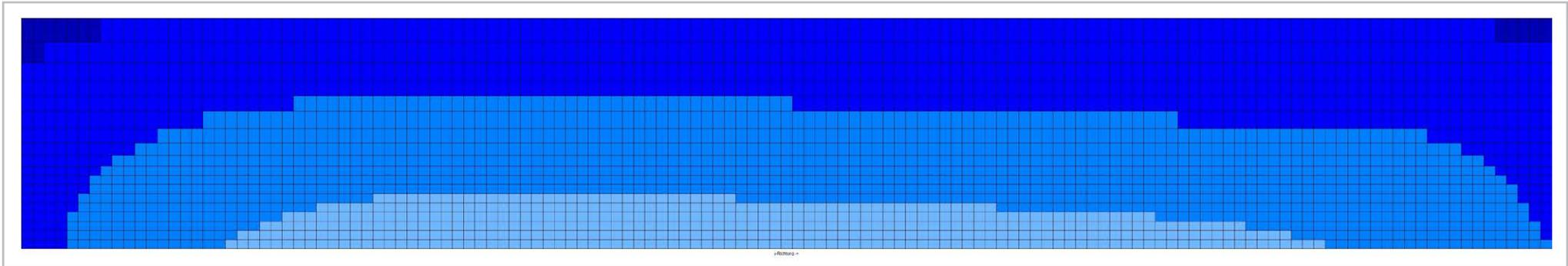
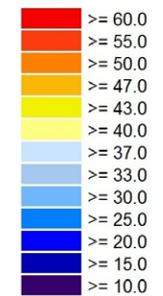


Abbildung 27: *NO₂-Konzentrationsverteilung im Abstand von 9,5 m zum westlichen Fahrbahnrand der Friedrich-Ebert-Straße (B6) zwischen Baxmannweg (links) und Konrad-Hänisch-Straße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 15 m*

NO₂-Jahresmittelwert
[µg/m³]





5.3.2 Konzentrationsverteilung in der Marienstraße

Die untenstehende Abbildung zeigt die horizontale Konzentrationsverteilung in der Marienstraße in der Messhöhe des Passivsammlers von 2,7 m.

Der Horizontalschnitt in Abbildung 28 zeigt, dass die höchsten Konzentrationen im Fahrbahnbereich auftreten. Die Konzentration verändert sich mit dem Straßenverlauf, was hier im Wesentlichen durch die straßenbegleitende Bebauung bedingt ist, die in ihrer Höhe und dem Abstand zur Fahrbahn variiert. Dementsprechend bildet sich auch ein unterschiedlich starkes Konzentrationsgefälle vom Fahrbahnrand bis zur straßenbegleitenden Bebauung aus. Die höchsten Konzentrationen vor der Bebauung treten auf der nördlichen Straßenseite auf.

Bei der Interpretation der Konzentrationsdarstellung ist zu beachten, dass für eine Auswertung bezogen auf die Bebauungslinie, die den Gebäuden nächstgelegenen zwei Gitterreihen nicht verwendet werden können (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen).

Die Verteilung der NO₂-Konzentration in der Vertikalen innerhalb des Straßenraums der Marienstraße zeigen die Abbildungen 29 und 30 und 31.

Die Abbildung 29 zeigt einen Vertikalschnitt quer zur Fahrbahn in der Marienstraße. In diesem Vertikalschnitt sind die Zellen, die Gebäude enthalten grau eingefärbt. Dazu zählt auch die Abtrennung zwischen dem Gehweg

und dem Gelände des Henriettenstift auf der Südseite der Marienstraße. Zellen, die Vegetation enthalten sind grün eingefärbt. Der Bereich der Fahrbahn ist durch eine schwarze Linie und die Lage der Messung des LÜN mit einem schwarzen Pfeil gekennzeichnet. Die Zellenbreite in der Horizontalen beträgt 1 m. In der Vertikalen beträgt die Gitterweite bodennah 0,6 m; sie vergrößert sich mit anwachsender Höhe.

Der Vertikalschnitt zeigt die höchste NO₂-Konzentration boden- und quellnah. Dies erklärt sich durch die bodennahe Freisetzung der Emissionen durch den Kraftfahrzeugverkehr. Mit steigender Entfernung von der Fahrbahn nimmt die Konzentration ab, deutlich zu erkennen insbesondere hin zur südlichen Straßenrandbebauung, welche in der Abbildung 29 am linken Bildrand steht. Der Konzentrationsgradient nimmt dabei mit steigendem Abstand von der Fahrbahn ab. Aufgrund der größeren Nähe der nördlichen Straßenrandbebauung zur Fahrbahn (in der Abbildung rechts) liegen dort die höheren Konzentrationen im Bereich der Bebauung vor.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 30 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade auf der nördlichen Straßenseite. Dargestellt ist zumeist die den Gebäuden dritt-nächst gelegene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist. Abweichungen sind dadurch begründet, dass die Gebäude nicht exakt in Flucht liegen und dementsprechend der Abstand der Gebäude zur Fahrbahn variiert.

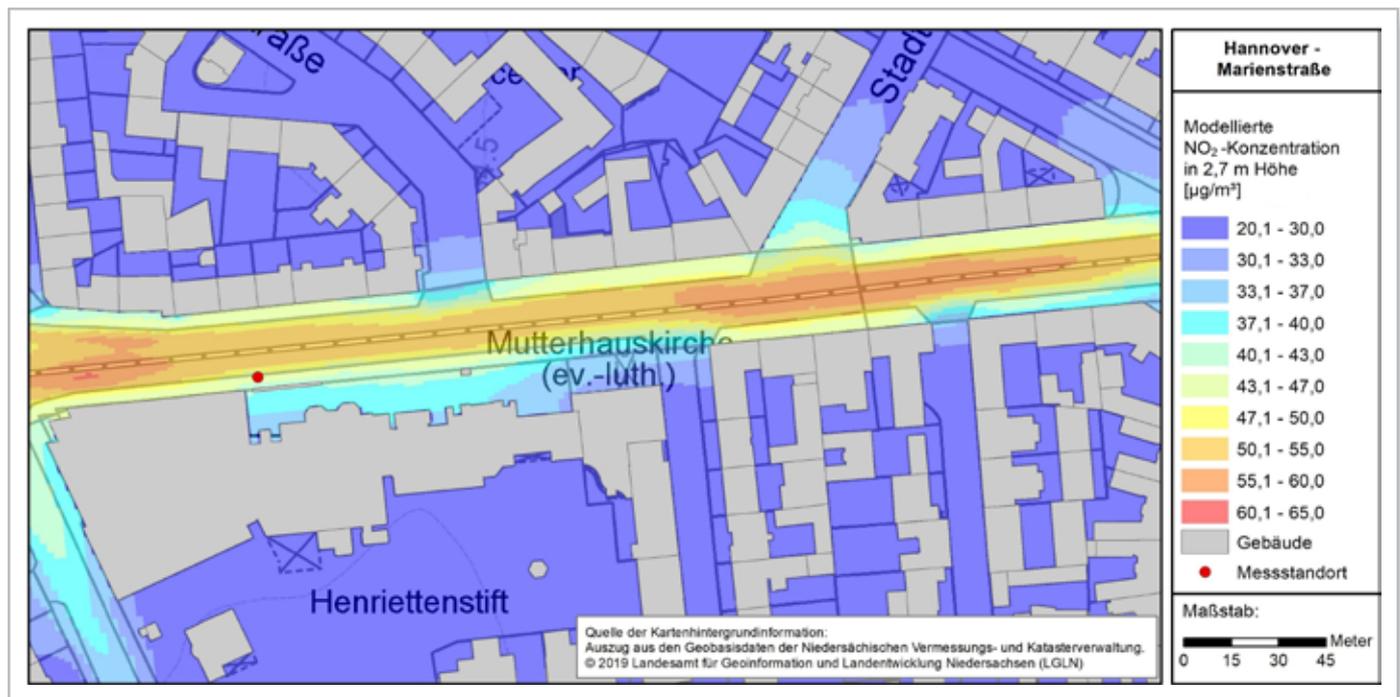


Abbildung 28: NO₂-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Marienstraße in Höhe der Messung (2,7 m)

Die schwarzen Pfeile am unteren Rand der Abbildungen weisen auf eine Tordurchfahrt (erster Pfeil von links) und auf zwei Querstraßen (zweiter und dritter Pfeil von links) hin. Dort zeigt sich im Fall der Tordurchfahrt und der westlicheren Querstraße (zweiter Pfeil von links) die bessere Durchlüftung des Straßenraums. Auf Höhe der zweiten Querstraße ist dies nicht erkennbar, da hier der Schnitt durch Zellen geht, die Emissionen beinhalten. Dies gilt auch für den linken Bereich der Abbildung, hier ist die Bebauung zurückgesetzt und der Schnitt verläuft durch den Abbiegestreifen. In den für die Bebauung relevanten Bereichen treten die höchsten NO_2 -Konzentrationen bodennah auf. Mit steigender Höhe nehmen die Konzentrationsdifferenzen zwischen den einzelnen Höhenschichten ab. Die höchsten Konzentrationen vor der Bebauung auf der nördlichen Straßenseite zeigen sich zwischen der Walter-Giesecking-Straße und der Stadtstraße.

Der dritte Vertikalschnitt in Abbildung 31 zeigt die Konzentrationsverteilung vor Teilen der straßenbegleitenden Bebauung auf der südlichen Straßenseite. Da die Bebauung hier im Abstand zur Straße stark variiert, liegt der Schnitt nur im westlichen Teilbereich des Henriettenstifts und für die Bebauung zwischen Sonnenweg und Am Südfriedhof im Bereich der Gebäudefassade. Die Konzentrationsverteilung ist in diesen Teilen qualitativ vergleichbar mit der nördlichen Straßenseite, geringe Konzentrationen zeigen sich bei den einmündenden Straßen, welche durch einen Pfeil markiert sind.

Eine detailliertere Betrachtung der Konzentrationsverhältnisse vor der Bebauungslinie erfolgt im Abschnitt 5.4.

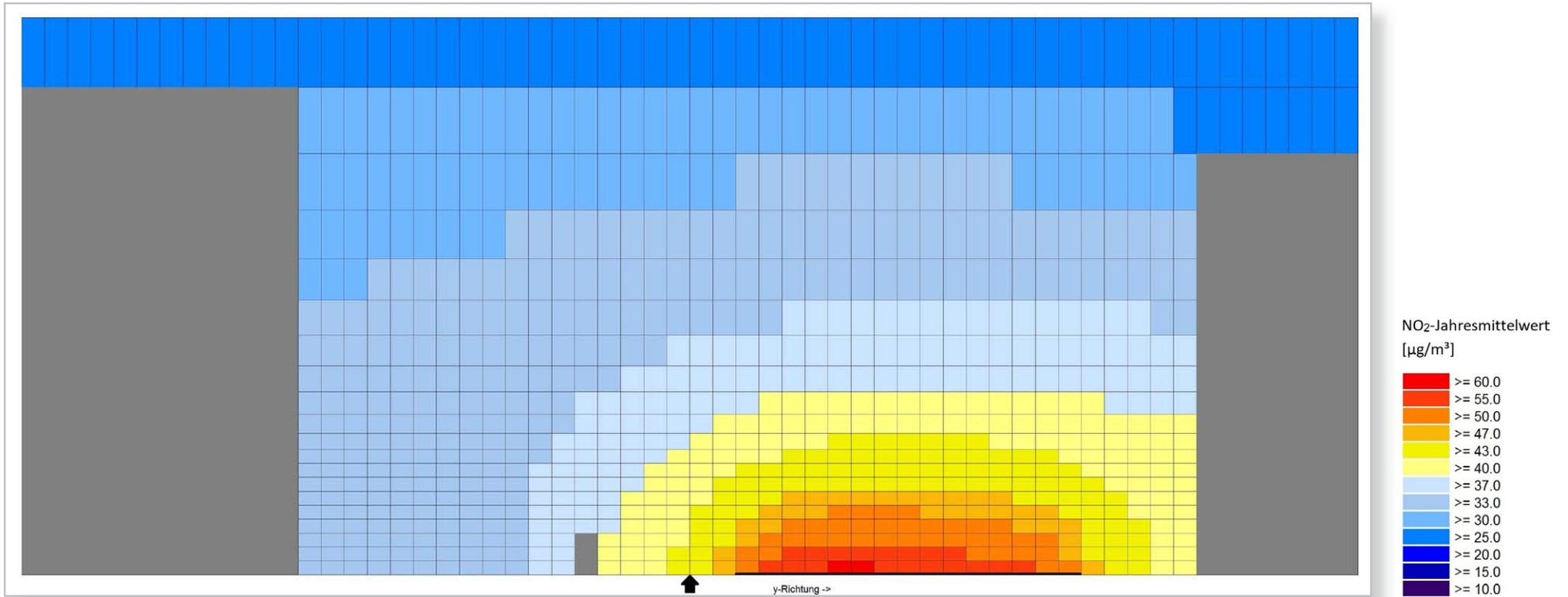


Abbildung 29: NO₂-Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Marienstraße im Bereich der NO₂-Messung über eine Höhe von 0 bis 24 m (Darstellung mit Blickrichtung West)

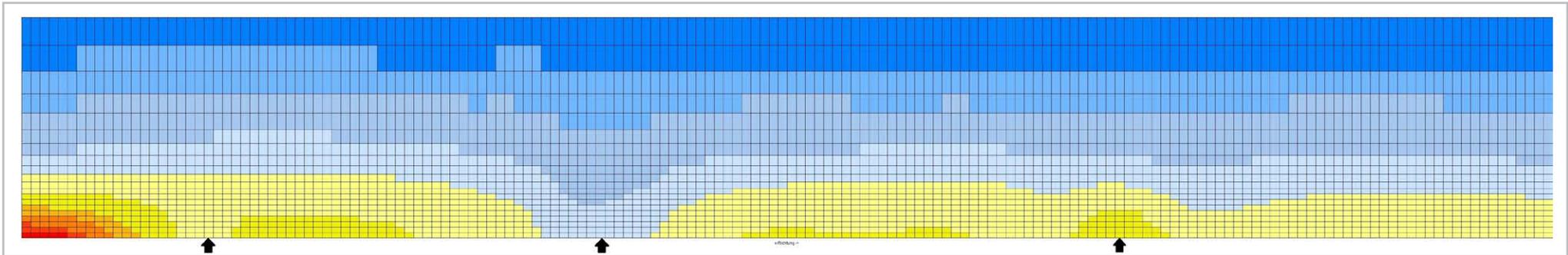


Abbildung 30: NO_2 -Konzentrationsverteilung parallel zur nördlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Berliner Allee (links) und Kestnerstraße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 24 m (Legende: siehe Abbildung 31)

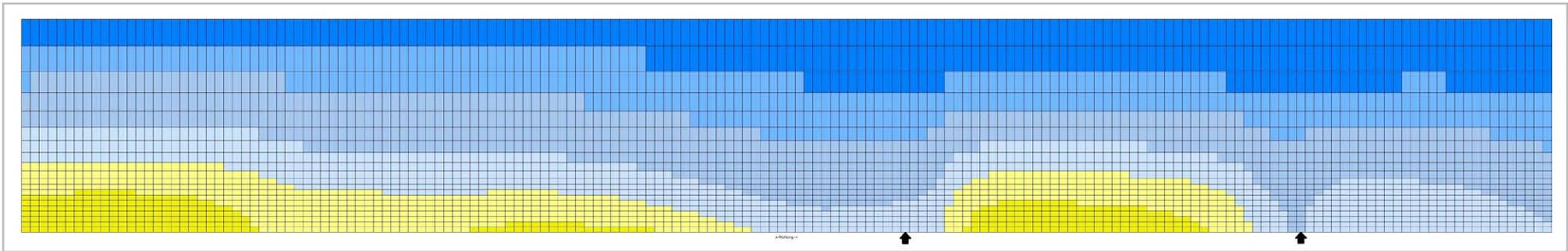
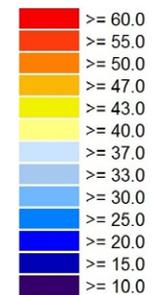


Abbildung 31: NO_2 -Konzentrationsverteilung parallel zur südlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Sallstraße (links) und Am Südbahnhof (rechts) über eine Höhe von 0 bis 24 m

NO_2 -Jahresmittelwert
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]





5.3.3 Konzentrationsverteilung in der Bornumer Straße

Die Abbildung 32 zeigt die Konzentrationsverteilung in der Bornumer Straße über einen Horizontalschnitt in Höhe der Messung von 2,7 m.

Aus der Abbildung 32 lässt sich entnehmen, dass die höchsten Konzentrationen im Fahrbahnbereich auftreten. Die Konzentration verändert sich mit dem Straßenverlauf, was hier im Wesentlichen durch die straßenbegleitende Bebauung bedingt ist, die hinsichtlich der Höhe variiert und Lücken durch die einmündende Bredenbecker Straße und eine Toreinfahrt auf der nördlichen Seite aufweist. Dementsprechend bilden sich im Straßenverlauf unterschiedlich starke Konzentrationsgefälle vom Fahrbahnrand bis zur straßenbegleitenden Bebauung aus. Die höchsten Konzentrationen vor der Bebauung treten auf der südlichen Straßenseite auf.

Bei der Interpretation der Konzentrationsdarstellung ist zu beachten, dass, wie im Abschnitt 5.2 dargestellt, die berechneten Konzentrationen unterhalb der gemessenen Konzentrationen liegen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass für eine Auswertung bezogen auf die Bebauungslinie die den Gebäuden nächstgelegenen zwei Gitterreihen nicht verwendet werden können (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen).

Die vertikale Verteilung der NO₂-Konzentration im Straßenraum der Bornumer Straße veranschaulichen die Abbildungen 33, 34 und 35.

Die Abbildung 33 zeigt einen Vertikalschnitt quer zur Fahrbahn in der Bornumer Straße auf Höhe der Messung des LÜN. In diesem Vertikalschnitt sind die Zellen, die Gebäude enthalten grau eingefärbt. Der Bereich der Fahrbahn ist durch eine schwarze Linie und die Lage der Messung des LÜN mit einem schwarzen Pfeil gekennzeichnet. Die Zellenbreite in der Horizontalen beträgt 1 m. In der Vertikalen beträgt die Gitterweite bodennah 0,6 m; sie vergrößert sich mit anwachsender Höhe.

Die höchsten Konzentrationen zeigen sich wie an den anderen Untersuchungsschwerpunkten boden- und quellnah.

Mit steigender Entfernung von der Fahrbahn nimmt die Konzentration in der Horizontalen und der Vertikalen ab. In diesem Bereich des Straßenraums finden sich auf der nördlichen Seite vor der Bebauung höhere Konzentrationen als auf der südlichen Bebauungsseite. Bezogen auf die gesamte Länge des untersuchten Straßenabschnittes finden sich die höchsten Konzentrationen auf der südlichen Bebauungsseite, siehe Abbildung 32.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 34 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade auf der südlichen Seite der Bornumer Straße. Dargestellt ist die den Gebäuden drittnächst gelegene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist.

Der schwarze Pfeil am unteren Rand der Abbildungen weist auf die einmündende Bredenbecker Straße hin. Dort zeigt sich die bessere Durchmischung des Straßenraums durch die Unterbrechung des Bebauungsriegels. Die höchsten Konzentrationen treten vor dem Gebäudeblock zwischen der Bredenbecker Straße und dem Deisterplatz auf, siehe auch Abbildung 32. Die Konzentration nimmt dabei mit steigender Entfernung vom Erdboden ab.

Der dritte Vertikalschnitt in Abbildung 35 zeigt für die kürzer bebaute nördliche Straßenseite eine qualitativ vergleichbare vertikale und horizontale Konzentrationsverteilung wie der Schnitt zur südlichen Straßenseite. Das Konzentrationsniveau ist jedoch insgesamt etwas niedriger. Der schwarze Pfeil am unteren Rand dieser Abbildung weist auf eine Tordurchfahrt zwischen den Gebäuden Bornumer Straße 4 und 6 hin.

Eine detailliertere Betrachtung der Konzentrationsverhältnisse vor der Bebauungslinie erfolgt im Abschnitt 5.4.



Abbildung 32: NO₂-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Bornumer Straße in Höhe der Messung (2,7 m)

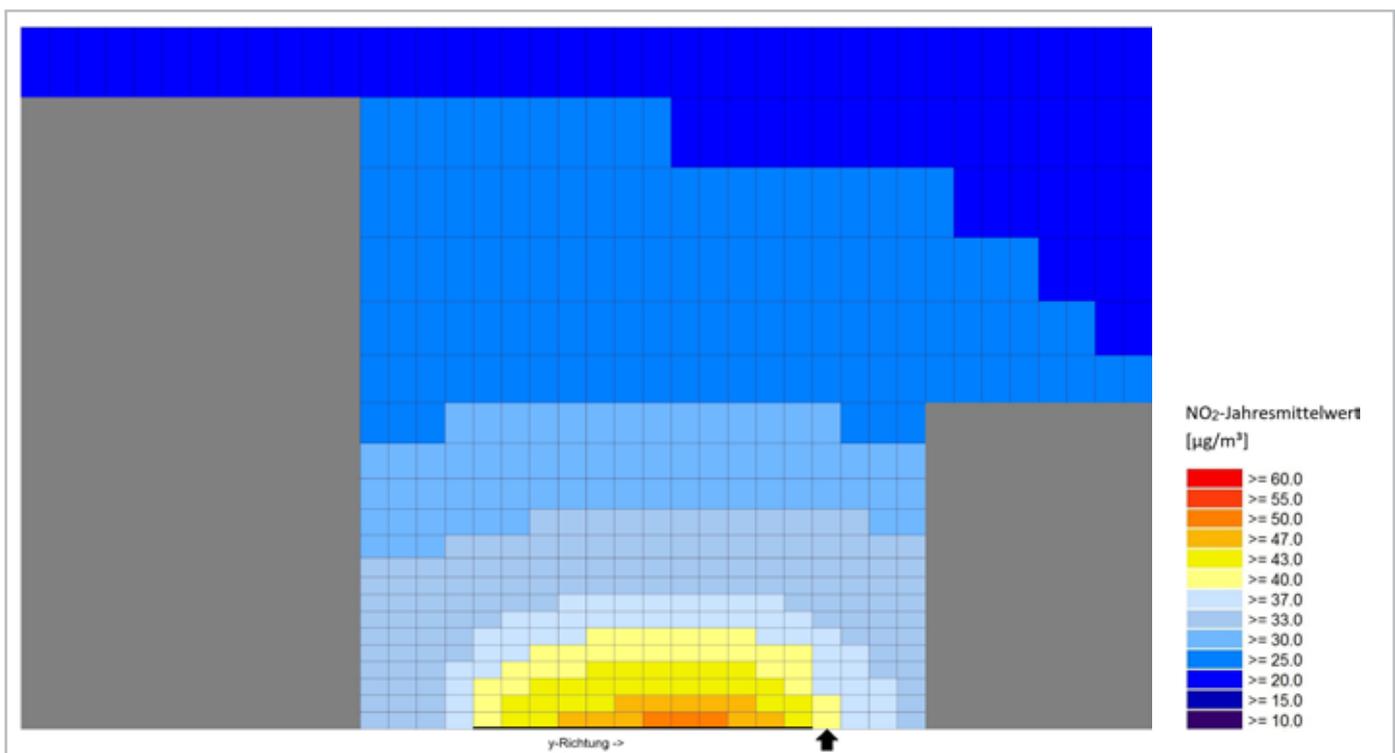


Abbildung 33: NO₂-Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Bornumer Straße im Bereich der NO₂-Messung des LÜN über eine Höhe von 0 bis 22,5 m (Darstellung mit Blickrichtung Südwest).

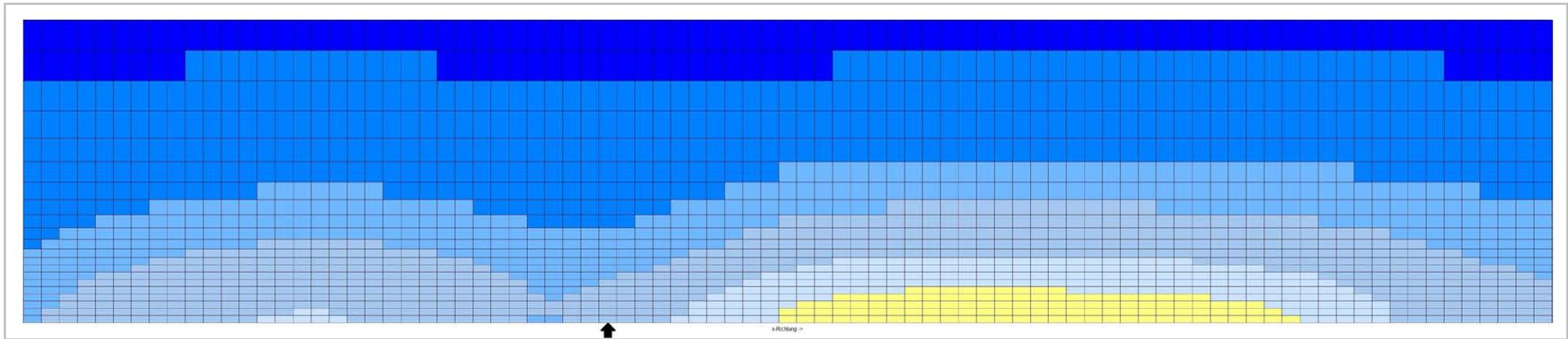
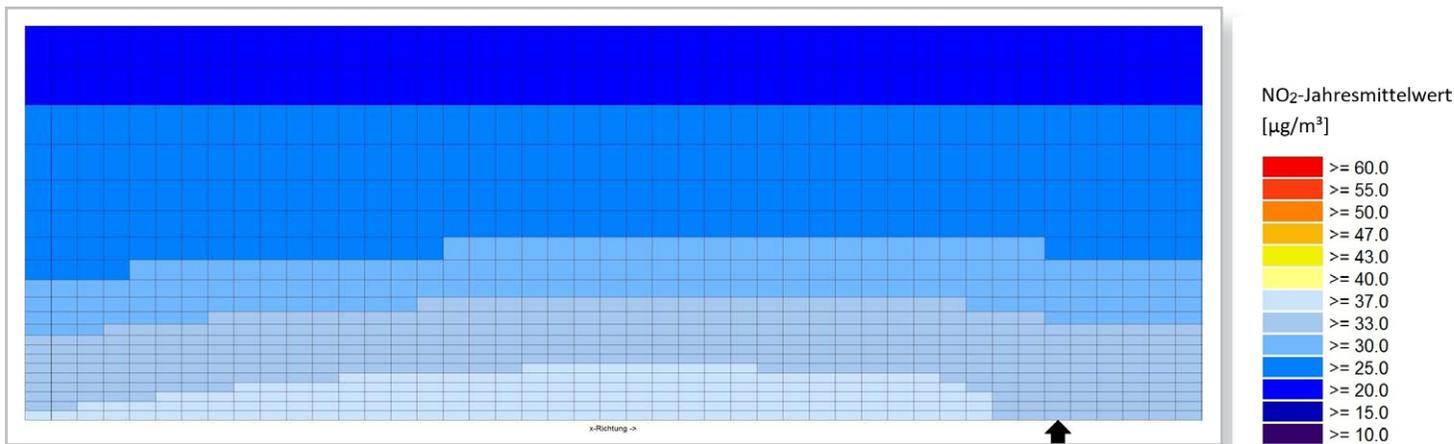


Abbildung 34: NO_2 -Konzentrationsverteilung parallel zur südlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Sporlederweg (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 22,5 m (Legende: siehe Abbildung 35)



NO₂-Jahresmittelwert
[µg/m³]

Red	≥ 60.0
Dark Orange	≥ 55.0
Orange	≥ 50.0
Light Orange	≥ 47.0
Yellow-Orange	≥ 43.0
Yellow	≥ 40.0
Light Yellow	≥ 37.0
Light Blue	≥ 33.0
Blue	≥ 30.0
Dark Blue	≥ 25.0
Very Dark Blue	≥ 20.0
Dark Purple	≥ 15.0
Black	≥ 10.0

Abbildung 35: NO_2 -Konzentrationsverteilung parallel zur nördlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Sporlederweg (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 22,5 m

5.3.4 Konzentrationsverteilung in der Göttinger Straße

Die horizontale Konzentrationsverteilung in der Göttinger Straße in einer Höhe von 1,5 m (Höhe der Messung: 1,7 m) zeigt die Abbildung 36.

Die Abbildung 36 zeigt die typische Konzentrationsverteilung im Straßenraum mit den höchsten Konzentrationen im Fahrbahnbereich. Die Konzentrationsverteilung ist beeinflusst durch die Straßenrandbebauung, die auf der östlichen Seite drei Unterbrechungen durch die einmündenden Straßen Behnsenstraße, Ahrbergstraße und Haspelmathstraße aufweist. In den Bereichen, in denen die Bebauung unterbrochen ist oder auch endet, wie z. B. auf der westlichen Seite zum Deisterplatz hin, nimmt die Konzentration aufgrund der besseren Durchmischung rasch ab. Im Straßenverlauf bilden sich dementsprechend unterschied-

lich starke Konzentrationsgefälle parallel zur Fahrbahn und auch vom Fahrbahnrand bis zur straßenbegleitenden Bebauung aus. Die Konzentrationsspitzen vor der Bebauung liegen auf der westlichen und östlichen Seite auf einem vergleichbaren Niveau.

Bei der Interpretation der Konzentrationsdarstellung ist zu beachten, dass, wie im Abschnitt 5.2 dargestellt, die berechnete Konzentration am Ort der Messung oberhalb der gemessenen Konzentration liegt. Darüber hinaus ist zu beachten, dass für eine Auswertung bezogen auf die Bebauungslinie, die den Gebäuden nächstgelegenen zwei Gitterreihen nicht verwendet werden können (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen).

Die vertikale Konzentrationsverteilung für NO₂ im Straßenraum der Göttinger Straße veranschaulichen die Abbildungen 37, 38 und 39.

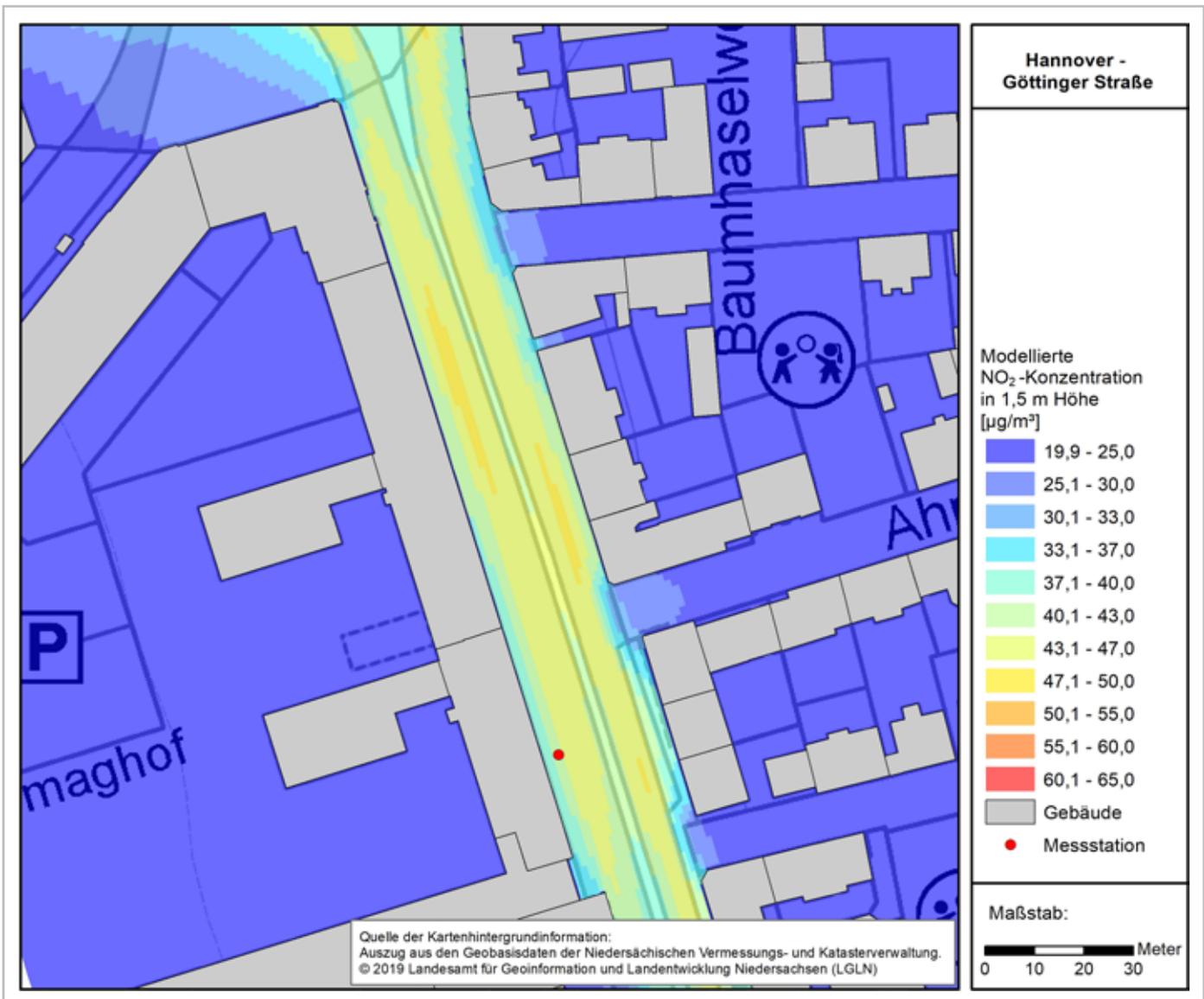


Abbildung 36: NO₂-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Göttinger Straße in Höhe von 1,5 m



In Abbildung 37 ist ein Vertikalschnitt für die Göttinger Straße quer zur Fahrbahn im Bereich der Messung des LÜN dargestellt. In diesem Vertikalschnitt sind die Zellen, die Gebäude enthalten grau eingefärbt. Der Bereich der Fahrbahn ist durch eine schwarze Linie und die Lage der Messung des LÜN mit einem schwarzen Pfeil gekennzeichnet. Die Zellenbreite in der Horizontalen beträgt 1 m. In der Vertikalen beträgt die Gitterweite bodennah 0,6 m; sie nimmt mit steigender Höhe zu.

Der Vertikalschnitt zeigt die typische Konzentrationsverteilung in der Vertikalen. Die Konzentrationen sind quellnah und dementsprechend auch bodennah im Bereich der Fahrspuren am größten und nehmen mit zunehmender Entfernung mit der Höhe und zu den Seiten hin ab. Gut zu erkennen sind zum einen der geteilte Fahrbahnbereich, links zu sehen die vom Deisterplatz nach Süden führenden Spuren und rechts die zum Deisterplatz nach Norden führenden Spuren, und zum anderen der Emissionsschwerpunkt jeweils auf der in Fahrtrichtung rechten Fahrspur, was in dem dort hauptsächlich präsenten Lkw-Verkehr begründet ist. Die Konzentration vor der Bebauung liegt in diesem Bereich der Göttinger Straße auf beiden Seiten auf einem vergleichbaren Niveau.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 38 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade auf der östlichen Seite der Göttinger Straße. Auf der östlichen Straßenseite liegt im Gegensatz zur westlichen Seite in den Gebäuden Wohnnutzung vor. Dargestellt ist zumeist die den Gebäuden drittächst ge-

legene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist. Abweichungen sind dadurch begründet, dass die Gebäude nicht exakt in Flucht liegen und dementsprechend der Abstand der Gebäude zur Fahrbahn variiert.

Die schwarzen Pfeile am unteren Rand der Abbildungen weisen auf die einmündenden Querstraßen hin. Dort zeigt sich die bessere Durchlüftung des Straßenraums durch die Unterbrechung des Bebauungsriegels. Die höchsten Konzentrationen treten vor dem Gebäudeblock zwischen der Ahrbergstraße und der Haspelmathstraße auf, siehe auch Abbildung 36. Die Konzentration nimmt mit zunehmender Höhe ab. Hin zum Deisterplatz ist die Bebauung an der Einmündung zum Kreisverkehr zurückgesetzt, so dass der Vertikalschnitt ganz rechts Zellen mit höheren Konzentrationen zeigt, die näher zur bzw. im Bereich der Fahrbahn liegen.

Dem dritten Vertikalschnitt in Abbildung 39 ist eine über den Straßenverlauf homogenere Konzentrationsverteilung zu entnehmen, was durch den durchgängigen Bebauungsblock begründet ist. Das Konzentrationsniveau ist im Schnitt im nördlichen Bereich (in der Abbildung rechts) höher, da sich hier der Abstand der Schnittlinie soweit verringert, dass er im Bereich der letzten Zellen schon auf der Fahrbahn liegt.

Eine detailliertere Betrachtung der Konzentrationsverhältnisse vor der Bebauungslinie erfolgt im Abschnitt 5.4.

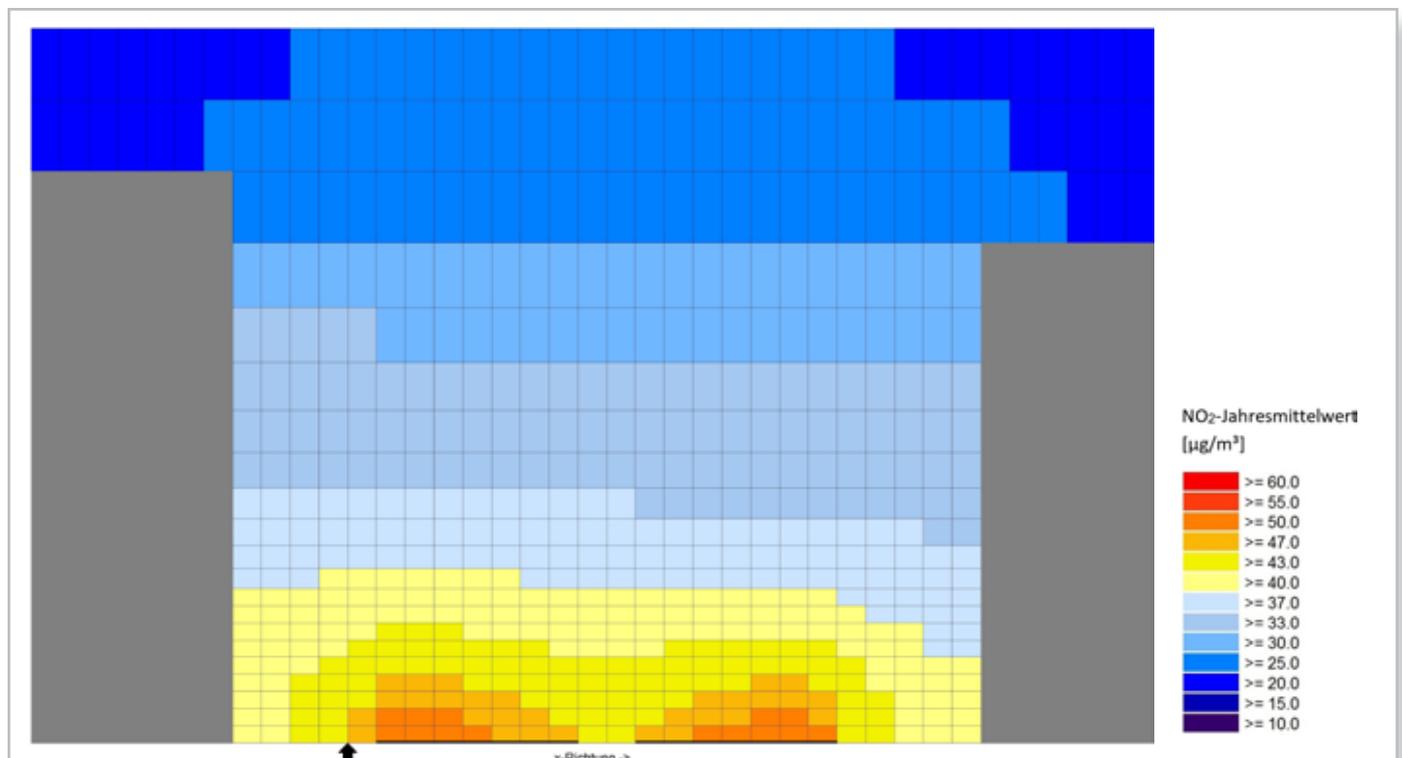


Abbildung 37: NO₂-Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Göttinger Straße im Bereich der Probenahmestelle des LÜN über eine Höhe von 0 bis 25 m (Darstellung mit Blickrichtung Nord).

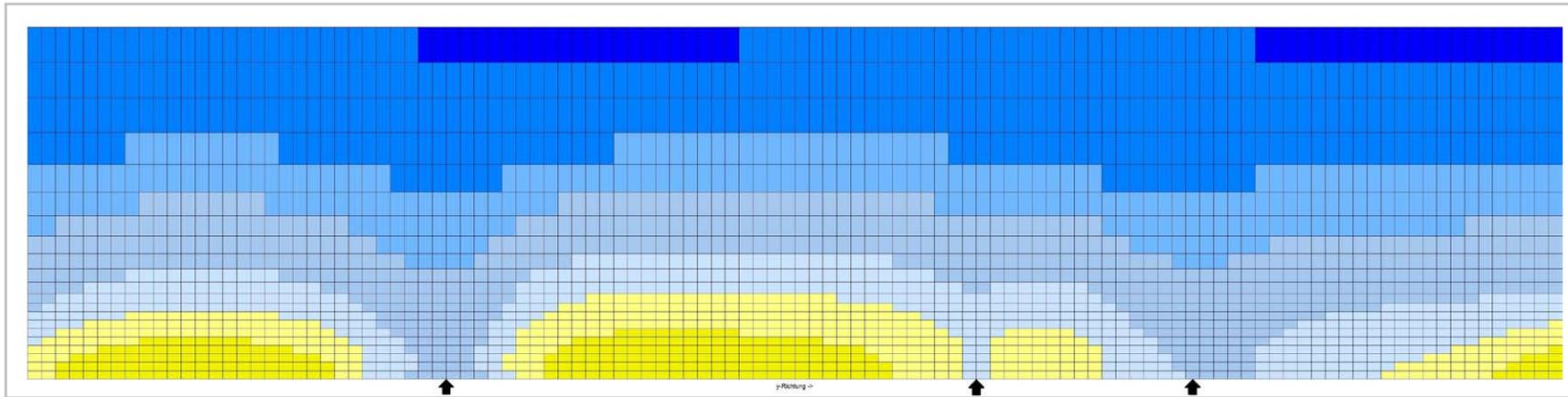
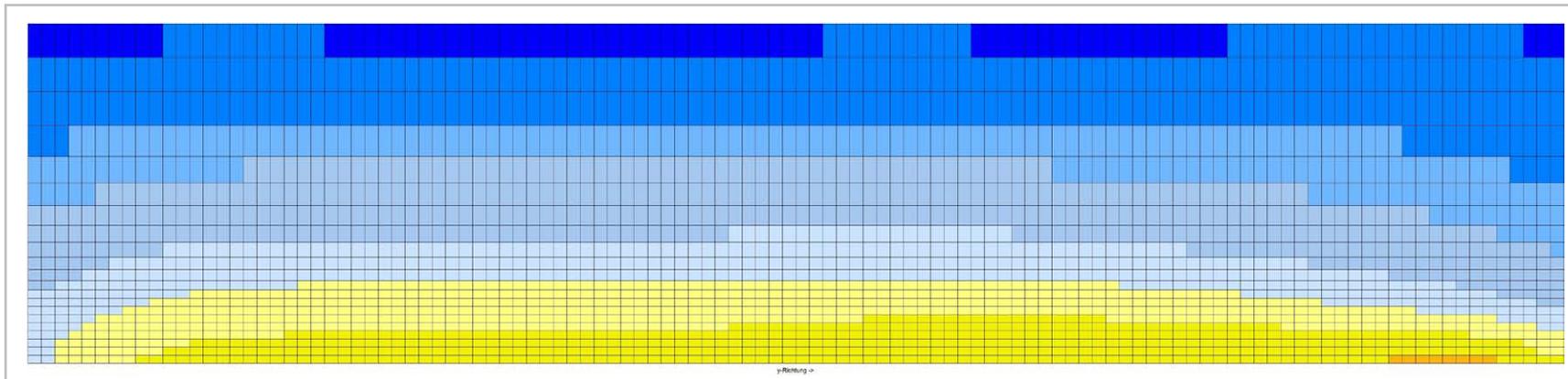


Abbildung 38: NO_2 -Konzentrationsverteilung parallel zur östlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Behnsenstraße (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 25 m (Legende: siehe Abbildung 39)



NO_2 -Jahresmittelwert
[$\mu g/m^3$]

- ≥ 60.0
- ≥ 55.0
- ≥ 50.0
- ≥ 47.0
- ≥ 43.0
- ≥ 40.0
- ≥ 37.0
- ≥ 33.0
- ≥ 30.0
- ≥ 25.0
- ≥ 20.0
- ≥ 15.0
- ≥ 10.0

Abbildung 39: NO_2 -Konzentrationsverteilung parallel zur westlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Behnsenstraße (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 25 m



5.4 Quantitative Darstellung der Konzentrationsverteilung im Bereich der Gebäude

Für die Ermittlung der NO₂-Jahresbelastung des Straßenabschnitts ist die dortige Wohnbebauungsfront maßgeblich. Bei der Wohnbevölkerung kann, wie rechtlich vorgeschrieben, von einem signifikanten Aufenthalt im Vergleich zum Mittelungszeitraum des NO₂-Jahresgrenzwertes ausgegangen werden. Für die NO₂-Jahresbelastung vor den Wohngebäuden sind in Anlehnung an die Messstellen-Positionierungsvorschriften die ersten beiden Etagen beidseitig der Straße heranzuziehen.

Einem konservativen Ansatz folgend wird für jede Straßenseite die NO₂-Konzentration in 1,5 m (Erdgeschoss) bzw. 3,9 m (erstes Obergeschoss) ausgewertet, sofern auf der jeweiligen Seite bzw. in dem jeweiligen Geschoss eine Wohnnutzung vorliegt. Beurteilungsrelevant ist für jede Straße die höchst belastete Straßenseite mit der höchstbelasteten Etage. Basis der Auswertung sind aufgrund der Vorgaben der Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 und der Anwendungsgrenzen des Modells (siehe Abschnitt 2.4) die Gitterzellen der zum Gebäude drittnächst gelegenen Gitterreihe, deren Abstand bis zur Fassade 2,5 m beträgt. Für die dem Gebäude näher gelegenen Rechenzellen weist das Modell im Wesentlichen geringfügig abnehmende Konzentrationen aus. Diese Werte sind jedoch nicht hinreichend belastbar, so dass sie im Regelfall für die Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Nachfolgend wird für die vier Untersuchungsschwerpunkte jeweils ein Horizontalschnitt für den Bereich vor den Gebäuden (drittnächste Gitterreihe zum Gebäude) entsprechend der zuvor genannten Randbedingungen dargestellt. Die Darstellungen erfolgen in Abhängigkeit von der Nutzung der Etagen für Wohnzwecke bezogen auf das Erdgeschoss für die Höhe von 1,5 m (Gitterebene von 1,2 bis 1,8 m) und in Bezug auf das erste Obergeschoss für die Höhe von 3,9 m (Gitterebene von 3,6 bis 4,2 m). Damit wird der Höhenbereich von 1,5 m bis 4 m abgedeckt, den die 39. BImSchV für die Beurteilung der Luftqualität vorsieht.

Die Darstellungen basieren auf den modellierten NO₂-Konzentrationen und zeigen jeweils zwei Konzentrationsbereiche, einen mit NO₂-Konzentrationen von bis zu 40 µg/m³ (blaue Zellen) und einen mit NO₂-Konzentrationen von mehr als 40 µg/m³ (gelbe Zellen). Diese Form der Darstellung bezieht sich dabei jeweils auf den Messwert für NO₂ (siehe Tabelle 17) der jeweiligen Probenahmestelle aus dem Jahr 2018, um dadurch Über- oder Unterschätzungen durch die Modellrechnung zu kompensieren.

Bei der Interpretation der nachfolgenden Konzentrationsdarstellungen ist zu beachten, dass als Einflussgrößen auf die Konzentrationsverteilung im Straßenverlauf der untersuchten Straßenabschnitte die Emissionen des Straßenverkehrs nur eingeschränkt relevant sind. In dieser Untersuchung wurden für die untersuchten Straßenabschnitte jeweils homogene Emissionsverhältnisse zugrunde gelegt, da die zur Verfügung stehenden Informationen zur Verkehrssituation in

der Friedrich-Ebert-Straße, der Marienstraße, der Bornumer Straße und der Göttinger Straße keine Differenzierung über den Straßenverlauf ermöglichen. Sofern die Verkehrssituation in den jeweiligen Straßenverläufen nicht weitestgehend homogen ist, z. B. aufgrund von Stop-and-go-Verkehr in Teilbereichen des untersuchten Straßenabschnitts, ist davon auszugehen, dass sich die Konzentrationsverteilungen im jeweiligen Straßenverlauf entsprechend verändern.

5.4.1 NO₂-Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Friedrich-Ebert-Straße

In der Friedrich-Ebert-Straße liegt, wie in Abschnitt 3.1.3 beschrieben, Wohnnutzung im Erdgeschoss und im ersten Obergeschoss vor.

Den Darstellungen in Abschnitt 5.3.1 ist zu entnehmen, dass die höchsten Konzentrationen vor der Bebauung auf der östlichen Straßenseite auftreten und hinsichtlich der Verteilung in der Vertikalen die höchsten Konzentrationen bodennah auftreten. Dementsprechend wird nachfolgend die NO₂-Konzentration in 1,5 m Höhe dargestellt und für die östliche Bebauungsseite ausgewertet, da hier die höchsten NO₂-Konzentrationen auftreten.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Horizontalschnitt für die Höhe von 1,5 m. Die räumliche Auflösung der Gitterzellen beträgt in der Horizontalen 1 m x 1,5 m.

Die Auswertung für die Höhenschicht von 1,5 m zeigt für die höher belastete Straßenseite bei gut der Hälfte der in der Auswertung berücksichtigten Zellen in der drittletzten Gitterreihe vor den Gebäuden (mittlerer Abstand zur Fassade 2,5 m) NO₂-Konzentrationen von mehr als 40 µg/m³ (gelbe Zellen). Im Verhältnis niedrige Konzentrationen (blaue Zellen) zeigen sich am nördlichen und südlichen Ende der Bebauungsreihe; hier liegt eine bessere Durchlüftung des Straßenraums vor. Die höheren Konzentrationen werden für den mittleren Teil des Bebauungsblocks berechnet. Diese Konzentrationsverteilung ist unter Berücksichtigung der in Bezug auf die Höhe sehr homogenen Randbebauung plausibel.

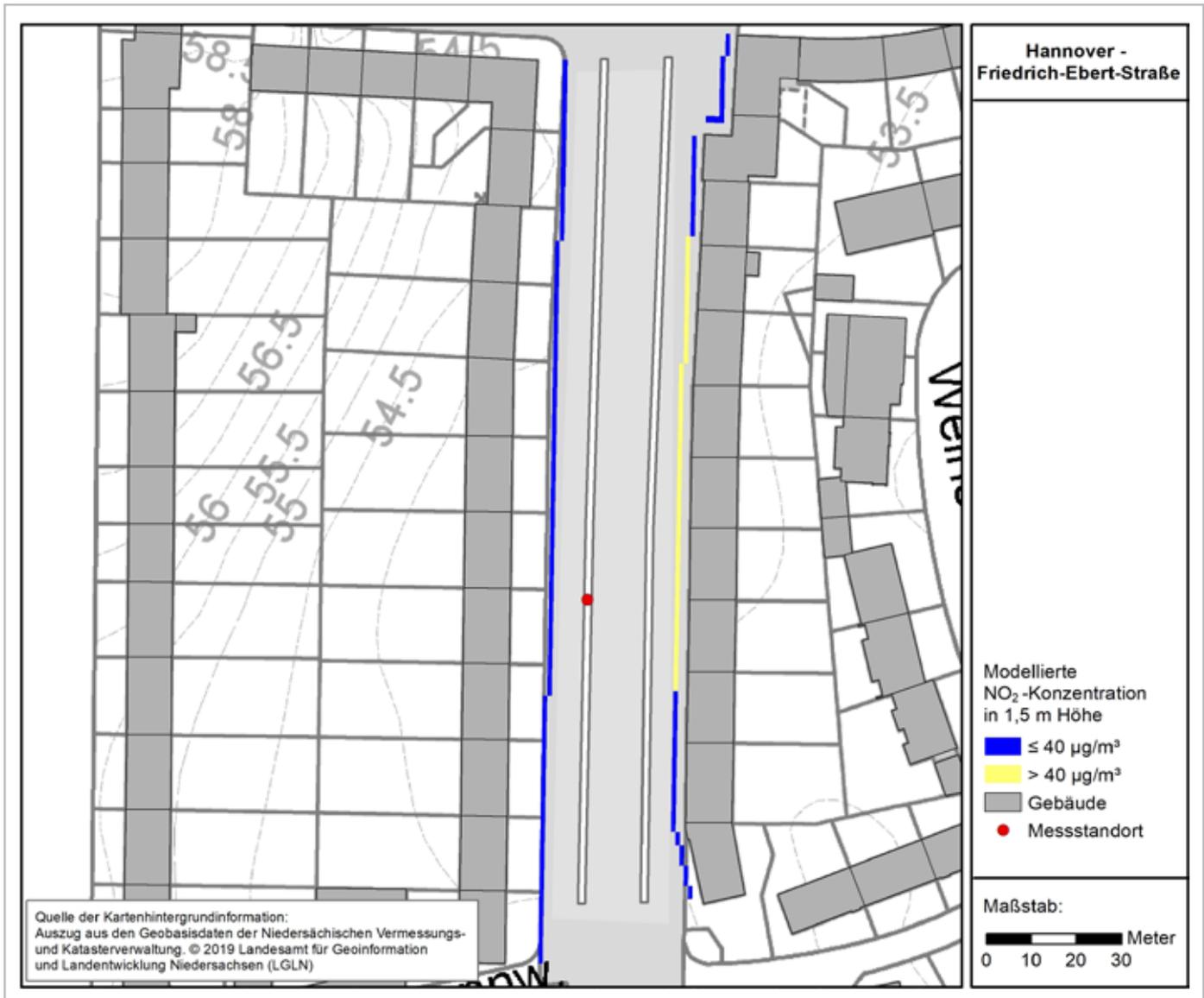


Abbildung 40: *NO₂-Konzentration im Straßenabschnitt der Friedrich-Ebert-Straße in 1,5 m Höhe*

Die Auswertung für die westliche Straßenseite (mittlerer Abstand 9,5 m zum Fahrbahnrand) zeigt durchgängig Konzentrationen unterhalb von 40 µg/m³. Der westliche Straßenbereich der Friedrich-Ebert-Straße ist aufgrund des größeren Abstands zwischen Bebauung und Fahrbahn besser durchlüftet.

Die Tabelle 18 gibt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten Gitterreihe an, welche insgesamt 130 Zellen bzw. Einzelwerte umfasst.

Tabelle 18: *Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der östlichen Seite der Friedrich-Ebert-Straße*

Kenngröße	NO ₂ -Konzentration [µg/m ³]
Mittlere Jahresbelastung	39
Maximalwert	46 ^{*)}
Minimalwert	26 ^{**)}

^{*)} Der Wert stellt den Maximalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts dar.

^{**)} Der Minimalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts liegt bei 23 µg/m³.



5.4.2 NO₂-Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Marienstraße

In der Marienstraße liegt Wohnnutzung nur im ersten Obergeschoss vor (siehe Abschnitt 3.2.3).

Auf Basis der Darstellungen in Abschnitt 5.3.2 ist davon auszugehen, dass die höchsten NO₂-Konzentrationen vor der Bebauung auf der nördlichen Straßenseite auftreten. Für die Verteilung in der Vertikalen zeigt sich der typische Verlauf mit den höchsten Konzentrationen bodennah. Da jedoch im Erdgeschoss keine Wohnnutzung erfolgt, wird zur Auswertung für die nördliche Bebauungsseite die NO₂-Konzentration in 3,9 m Höhe berücksichtigt.

Die Abbildung 41 auf der nächsten Seite zeigt den Horizontalschnitt für die Höhe von 3,9 m vor der nördlichen Bebauungsreihe. Die räumliche Auflösung der Gitterzellen beträgt in der Horizontalen 2 m x 1 m.

Die Auswertung für die Höhenschicht von 3,9 m zeigt für nahezu alle in der Auswertung berücksichtigten Zellen in der drittletzten Gitterreihe vor den Gebäuden (mittlerer Abstand zur Fassade 2,5 m) NO₂-Konzentrationen von mehr als 40 µg/m³ (gelbe Zellen). NO₂-Konzentrationen von 40 µg/m³ und weniger (blaue Zellen) werden ausschließlich für Zellen berechnet, die am Ende von Gebäudereihen liegen, z. B. an der Einmündung der Walter-Gieseking-Straße. In diesen Bereichen liegt eine bessere Durchlüftung des Straßenraums vor. Die Konzentrationsspanne ist für den ausgewiesenen Bereich mit 5 µg/NO₂/m³ deutlich geringer als bei der Bebauungssituation in der Friedrich-Ebert-Straße.

Dies ist im Wesentlichen darin begründet, dass die einmündenden Querstraßen auch relevante Verkehrsmengen aufweisen, insbesondere der Kreuzungsbereich mit der Berliner Allee, und dementsprechend die Konzentrationen weniger stark abklingen als hin zu unbebauten Bereichen ohne Verkehr.

Für die südliche Straßenseite ist zunächst zu berücksichtigen, dass der Abstand der Gebäude zur Straße deutlich variiert und somit nicht für die gesamte Bebauung im Abstand von 2,5 m vor dem Gebäude ausgewertet wurde. Für den westlichen Teil des Gebäudes des Henriettenstifts und für den Bereich zwischen Sonnenweg und Annenstraße zeigen sich NO₂-Konzentrationen oberhalb von 40 µg/m³. Östlich der Annenstraße und in den Bereichen, in denen die Bebauung weiter zurückgesetzt ist und die Auswertung für weiter von der Straße entfernte Bereiche erfolgt, werden NO₂-Konzentrationen von 40 µg/m³ und weniger berechnet. Die Tabelle 19 zeigt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten Gitterreihe an, welche insgesamt 142 Zellen bzw. Einzelwerte umfasst

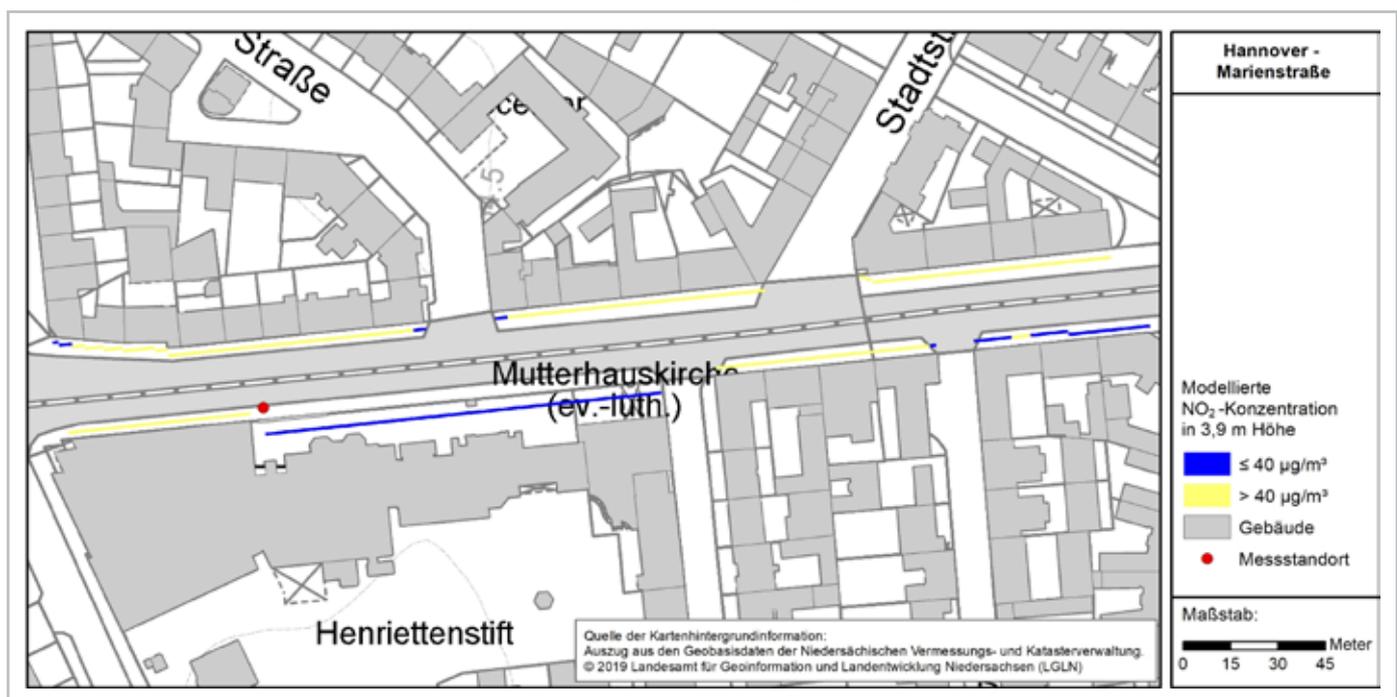
Tabelle 19: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 3,9 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der nördlichen Seite der Marienstraße

Kenngröße	NO ₂ -Konzentration [µg/m ³]
Mittlere Jahresbelastung	43
Maximalwert	44 ^{*)}
Minimalwert	39 ^{**)}

^{*)} Der Maximalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts liegt bei 46 µg NO₂/m³.

^{**)} Der Minimalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts liegt bei 37 µg NO₂/m³.

Abbildung 41: NO₂-Konzentration im Straßenabschnitt der Marienstraße in 3,9 m Höhe



5.4.3 NO₂-Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Bornumer Straße

Wohnnutzung liegt in der Bornumer Straße wie in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, auf beiden Straßenseiten im Erdgeschoss und im ersten Obergeschoss vor.

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 5.3.3 beschriebenen Konzentrationsverhältnisse ist davon auszugehen, dass die höchsten Konzentrationen vor der Bebauung auf der südlichen Straßenseite auftreten. Für die Verteilung in der Vertikalen gilt das für die Quelle des Straßenverkehrs klassische Verteilungsmuster mit den höchsten Konzentrationen im bodennahen Bereich.

Die Abbildung 42 auf der nachfolgenden Seite zeigt die Konzentrationsverhältnisse vor der Bebauung für die Höhe von 1,5 m. Die räumliche Auflösung der Gitterzellen beträgt in der Horizontalen 1,5 m x 1 m.

Die Abbildung 42 weist für die Höhenschicht von 1,5 m an der höher belasteten südlichen Straßenseite für den größten Teil der in der Auswertung berücksichtigten Zellen in der drittletzten Gitterreihe vor den Gebäuden (mittlerer Abstand zur Fassade 2,5 m) NO₂-Konzentrationen von mehr als 40 µg/m³

(gelbe Zellen) aus. Die Berechnung zeigt nur für das westliche Ende der Bebauungsreihe und im Bereich der einmündenden Bredenbecker Straße Zellen mit einer NO₂-Konzentration von 40 µg/m³ und weniger (blaue Zellen). Auf der nördlichen Straßenseite liegt die gebäudenaher NO₂-Konzentration im Wesentlichen oberhalb von 40 µg/m³. Nur im östlichen Teil der Gebäudereihe, wo der Abstand zwischen Fahrbahn und Bebauung zunimmt werden NO₂-Konzentrationen von maximal 40 µg/m³ und weniger berechnet.

Auch in der Bornumer Straße folgt die Konzentrationsverteilung dem typischen Muster von beidseitig bebauten Straßen. Im Verhältnis niedrige Konzentrationen zeigen sich am Anfang und Ende der Bebauungsreihen bzw. in den Bereichen in denen die Bebauung Lücken, z. B. durch einmündende Straßen, aufweist. Dort liegt eine bessere Durchlüftung des Straßenraums vor, welche zu den im Verhältnis niedrigeren Immissionskonzentrationen führt. Die höheren Konzentrationen zeigen sich vor dem östlichen hin zum Deisterplatz gelegenen Bebauungsriegel.

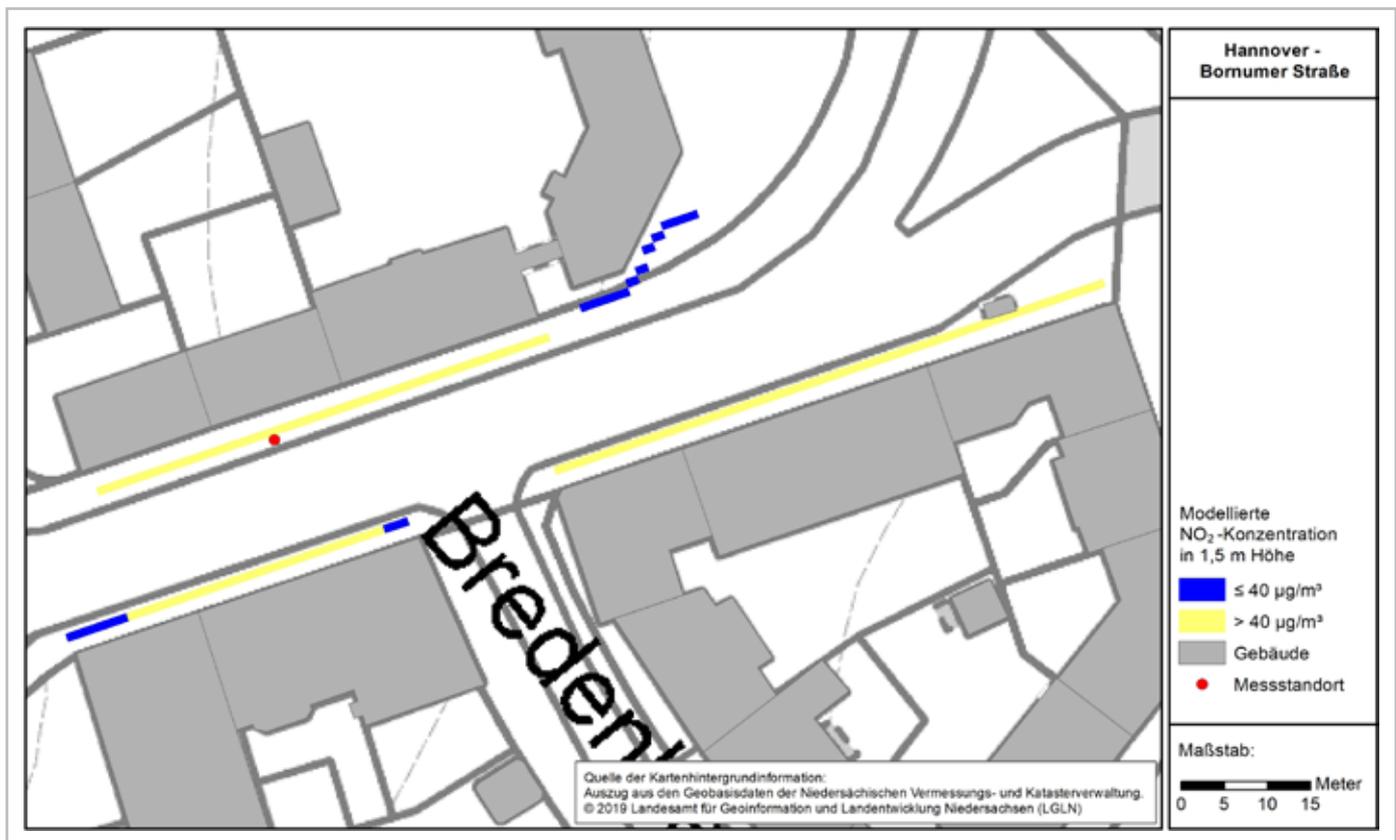


Abbildung 42: NO₂-Konzentration im Straßenabschnitt der Bornumer Straße in 1,5 m Höhe



Die Tabelle 20 gibt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten Gitterreihe an, welche insgesamt 74 Zellen bzw. Einzelwerte umfasst.

Tabelle 20: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der südlichen höher belasteten Seite der Bornumer Straße

Kenngröße	NO ₂ -Konzentration [µg/m ³]
Mittlere Jahresbelastung	44
Maximalwert	47 ^{*)}
Minimalwert	38 ^{**)}

^{*)} Der Wert entspricht dem Maximalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts

^{**)} Der Wert entspricht dem Minimalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts

5.4.4 NO₂-Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in der Göttinger Straße

Im untersuchten Abschnitt der Göttinger Straße findet Wohnnutzung ausschließlich auf der östlichen Straßenseite und dort sowohl im Erdgeschoss als auch im ersten Obergeschoss statt, siehe auch Abschnitt 3.4.3. Auf der westlichen Straßenseite liegt durchgängig eine gewerbliche Nutzung der Gebäude vor.

Den Darstellungen in Abschnitt 5.3.4 ist zu entnehmen, dass die Konzentrationsspitzen auf beiden Straßenseite auf einem vergleichbaren Niveau liegen. Die Konzentrationsverteilung in der Vertikalen zeigt in der Göttinger Straße die für bodennahe Emissionsquellen typische Situation mit hohen Konzentrationen quell- und bodennah. Aufgrund der Nutzungssituation der Gebäude wird nachfolgend die NO₂-Konzentration für die östliche in 1,5 m Höhe dargestellt und für die östliche Bebauungsseite ausgewertet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Horizontalschnitt für die Höhe von 1,5 m. Die räumliche Auflösung der Gitterzellen beträgt in der Horizontalen 1 m x 1,5 m.

Die Abbildung 43 zeigt im Wesentlichen die NO₂-Konzentration für die Gitterreihe im Abstand von 2,5 m zu den Gebäuden. Vor der Gebäudereihe zwischen der Ahrbergstraße und der Haspelmathstraße beträgt die Gehwegbreite nur 2 m. Eine Auswertung der Gitterreihe mit einem mittleren Abstand von 2,5 m zu den Gebäuden und damit von Zellen die auf der Fahrbahn liegen und Emission enthalten, ist nicht sinnvoll. Um dennoch Werte für diesen Bereich auszuweisen, wurde die Gitterreihe in 1,5 m Entfernung zum Gebäude ausgewertet. Dieses Vorgehen entspricht nicht der Empfehlung aus der Richtlinie VDI 3783 Blatt 9, erscheint auf Basis der Empfehlung des Modellentwicklers (vgl. Eichhorn 2011, S. 40) jedoch vertretbar und stellt nach hiesiger Auffassung für diesen Sonderfall eine pragmatische und sachgerechte Vorgehensweise dar.

Die Auswertung für die Höhenschicht von 1,5 m zeigt nur für einen Teil der in der Auswertung berücksichtigten Zellen vor den Gebäuden NO₂-Konzentrationen von mehr als 40 µg/m³. Konkret treten Werte oberhalb von 40 µg NO₂/m³ (gelbe Zellen) nur vor den Gebäuden zwischen der Ahrbergstraße und der Haspelmathstraße auf. Nördlich der Haspelmathstraße und südlich der Ahrbergstraße liegen die berechneten NO₂-Konzentrationen bei maximal 40 µg/m³ (blaue Zellen). Im Verhältnis niedrige Konzentrationen zeigen sich aufgrund der besseren Durchlüftung des Straßenraums jeweils an den Enden der Bauungsreihen. Höhere Konzentrationen sind im mittleren Bereich der Bauungsreihen festzustellen.

Auf der westlichen Seite, auf der keine Wohnnutzung erfolgt, liegen die NO₂-Konzentrationen im Wesentlichen oberhalb von 40 µg/m³. Nur in den besser belüfteten Randbereichen des betrachteten Straßenabschnitts werden Werte von maximal 40 µg/m³ und niedriger erreicht.

Die Tabelle 21 gibt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten Gitterreihe an, welche insgesamt 90 Zellen bzw. Einzelwerte umfasst. Die Tabelle beinhaltet keine Angaben für beide Seiten des Straßenabschnittes, da nur auf der östlichen Seite Wohnnutzung stattfindet.

Tabelle 21: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m und 1,5 m zur Bebauung auf der östlichen Seite der Göttinger Straße

Kenngröße	NO ₂ -Konzentration [µg/m ³]
Mittlere Jahresbelastung	39
Maximalwert	42
Minimalwert	32

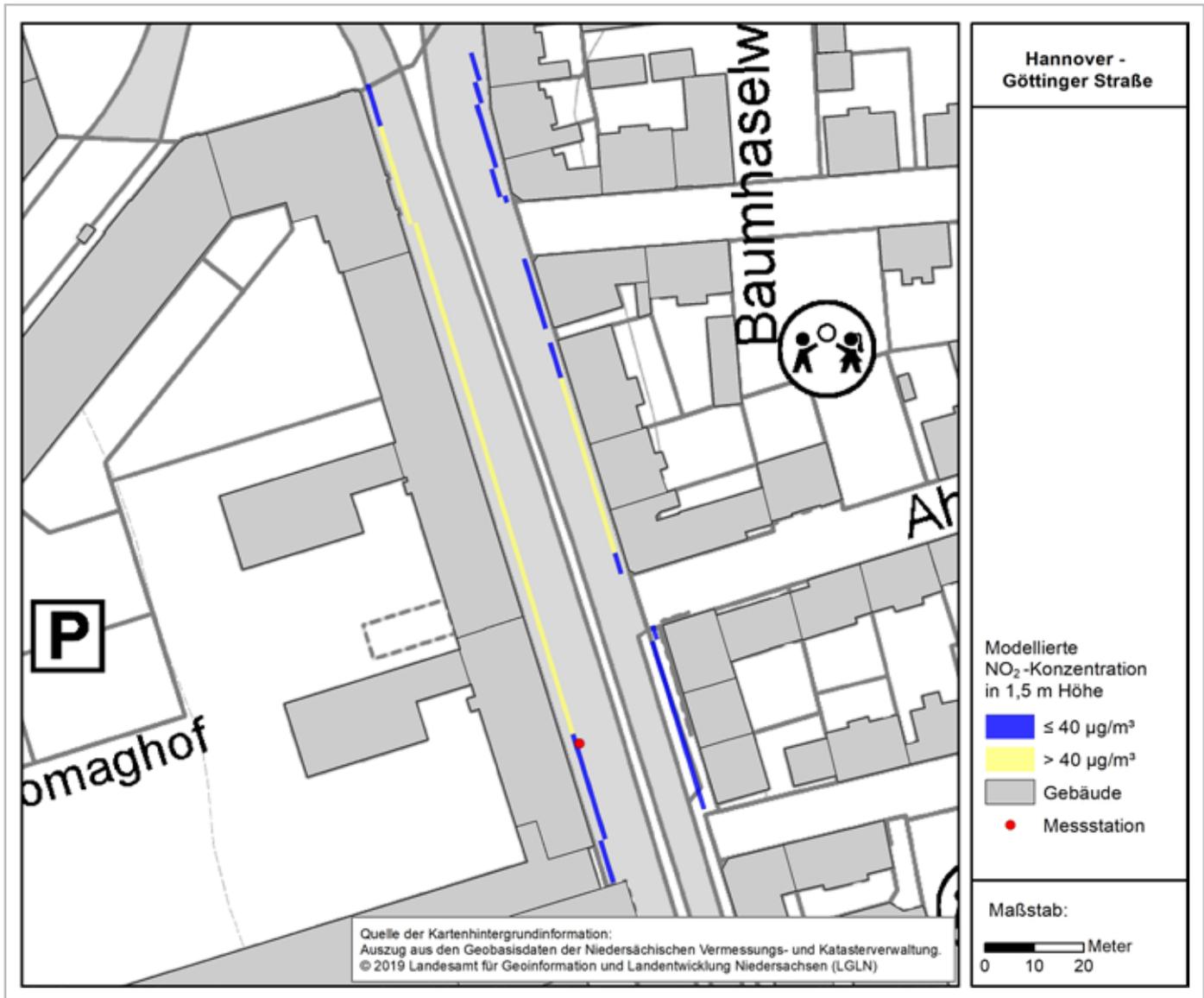


Abbildung 43: NO₂-Konzentration im Straßenabschnitt der Göttinger Straße in 1,5 m Höhe



6. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Untersuchung der Stickstoffdioxidkonzentration im Umfeld der verkehrsnahen Probenahmestellen des LÜN in der Friedrich-Ebert-Straße, der Marienstraße, der Bornumer Straße und der Göttinger Straße in Hannover wurden mit dem prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM Berechnungen durchgeführt.

Die Berechnungen geben Aufschluss über die horizontale und vertikale Konzentrationsverteilung für NO_2 in den zuvor genannten Straßen. In Bezug auf die Konzentrationsverteilung ist festzustellen, dass sich die höchsten Konzentrationen in den bodennahen Schichten im Bereich der Fahrbahn zeigen, was aufgrund der Eigenschaften der Emissionsquelle Straßenverkehr plausibel ist. Mit steigender Höhe und steigender Entfernung zur Fahrbahn nimmt die Konzentration ab. Der Gradient nimmt dabei mit steigender Entfernung von der Quelle ab.

Die Konzentrationsverteilung innerhalb der Straßenräume wird maßgeblich durch die Eigenschaften der Straßenrandbebauung beeinflusst. Hier sind der Abstand zur Fahrbahn, die Höhe und Unterbrechungen durch Straßen oder auch Tordurchfahrten von Bedeutung, da sie einen relevanten Einfluss auf die Strömungssituation und dementsprechend auch auf die Konzentrationsverteilung haben. Der Einfluss der Emission des Straßenverkehrs auf die Konzentrationsverteilung im Straßenverlauf ist für die untersuchten Straßenabschnitte nur von eingeschränkter Relevanz. Für die untersuchten Straßenabschnitte mussten jeweils homogene Emissionsverhältnisse zugrunde gelegt werden, da die zur Verfügung stehenden Informationen zur Verkehrssituation in den betrachteten Straßen keine Differenzierung über den Straßenverlauf ermöglichen. Sofern die Verkehrssituation in den jeweiligen Straßenverläufen nicht weitestgehend homogen ist, ist davon auszugehen, dass sich die Unterschiede im Konzentrationsverlauf entlang der Straße entsprechend verändern.

Für die Auswertung der Konzentrationsverhältnisse an der Bebauungslinie wurde in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung die höher belastete Straßenseite zugrunde gelegt. Dazu wurde die NO_2 -Konzentration in einer Höhe von 1,5 m (Erdgeschoss) bzw. 3,9 m (erstes Obergeschoss) ausgewertet und dabei primär das jeweilige höher belastete Geschoss mit Wohnnutzung betrachtet.

Für die Ermittlung der NO_2 -Konzentration der an der Bebauungslinie wurden daher in Abhängigkeit von der Wohnnutzungssituation der Gebäude im Erd- und ersten Obergeschoss die Höhenschicht von 1,5 m (Friedrich-Ebert-Straße, Bornumer Straße und Göttinger Straße) und 3,9 m (Marienstraße) für die jeweils höchstbelastete Straßenseite mit Wohnnutzung ausgewertet. Dabei wurde im Wesentlichen auf die der Bebauung drittnächstgelegene Gitterreihe zurückgegriffen, welche im Mittel in einer Entfernung von 2,5 m zu den Gebäuden liegt. Dieses Vorgehen ist in den Anforderungen der Richtlinie

VDI 3783 Blatt 9 begründet, welche einen Abstand von zwei Gitterpunkten zwischen fester Modellberandung (Boden oder Gebäude) und dem interessierenden Gitterpunkt vorsieht.

Der Vergleich der Modellierungsergebnisse mit den Messwerten der Probenahmestellen des LÜN aus 2018 zeigt im Wesentlichen eine sehr gute Übereinstimmung. Lediglich in der Bornumer Straße tritt mit einer Abweichung von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine größere Differenz zwischen der gemessenen und der berechneten NO_2 -Konzentration auf (siehe Tabelle 22). Das Datenqualitätsziel für die Unsicherheit der Modellrechnung aus Anlage 1 der 39. BImSchV von 30 % wird jedoch für alle Einzelwerte sicher eingehalten.

Eine Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse und der Messergebnisse des LÜN für die untersuchten Straßenabschnitte zeigt die Tabelle 22 auf der nachfolgenden Seite.

Die Berechnungsergebnisse für die NO_2 -Konzentration vor der Bebauung zeigen mittlere Jahresbelastungen, die sowohl knapp unterhalb (Friedrich-Ebert-Straße und Göttinger Straße) aber auch geringfügig oberhalb (Marienstraße und Bornumer Straße) des Grenzwertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Im Vergleich zu den Messwerten werden für alle betrachteten Straßenabschnitte niedrigere mittlere Jahresbelastungen vor den jeweils höchstbelasteten Wohnetagen berechnet. Die Differenzen betragen zwischen 1 und $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die berechneten Maximalwerte stimmen indes mit den Messwerten im Wesentlichen überein.

Die Konzentrationsspannen vor der Bebauung sind unterschiedlich stark ausgeprägt. Während in der Friedrich-Ebert-Straße eine Differenz von $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen dem Maximum und dem Minimum berechnet wird, liegt diese in den anderen Straßen bei 9 – $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ursächlich sind hier die lokalen Randbedingungen (Bebauung, Straßen) an den jeweiligen Enden der Bebauungsreihen, die die Minimalwerte maßgeblich bestimmen.

In einem nächsten Schritt werden zur Absicherung der Rechenergebnisse zusätzliche Passivsammlermessstellen in jedem betrachteten Straßenabschnitt eingerichtet.

Tabelle 22: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse der MISKAM-Berechnungen und der Messungen des LÜN zum Bezugsjahr 2018

Immissionskenngröße	Friedrich-Ebert-Straße	Marienstraße	Bornumer Straße	Göttinger Straße
Jahresmittelwert der NO ₂ -Messung in 2018 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	47	45	45	42
Berechneter NO ₂ -Jahresmittelwert am Messpunkt [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	47	45	39	44
Berechnete mittlere NO ₂ -Jahresbelastung der höchstbelasteten Wohnetage des untersuchten Straßenabschnitts [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	39	43	44	39
Berechnetes NO ₂ -Jahresmaximum in Höhe der höchstbelasteten Wohnetage (auf beiden Seiten) des Straßenabschnitts [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	46	46	47	42 ¹⁾
Berechnetes NO ₂ -Jahresminimum in Höhe der höchstbelasteten Wohnetage (auf beiden Seiten) des Straßenabschnitts [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	23	37	38	32 ¹⁾

¹⁾ Nur östliche Seite mit Wohnnutzung



7. Literaturverzeichnis

- BÄCHLIN, W.; FRANTZ, H.; LOHMEYER, A.: Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Straße, Hannover. Auftraggeber: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ), Göttinger Straße 14, 30449 Hannover. Dresden: Ingenieurbüro Lohmeyer (2003) in Zusammenarbeit mit Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart; Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ), Hannover
- https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/luftqualitaet/luftthygienische_uberwachung_niedersachsen/berichte/sonderberichte/archiv/archiv-sonderberichte-112286.html (01.07.2019)
- BALCZÓ, M.; GROMKE, C.; RUCK, B.: Numerical modeling of flow and pollutant dispersion in street canyons with tree planting. In: Meteorologische Zeitschrift 18 (2009), 2, S. 197 – 206
- DÜRING, I., BÄCHLIN, W.; KETZEL, M.; BAUM, A.; FRIEDRICH, U.; WURZLER, S.: A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. In: Meteorologische Zeitschrift 20 (2011), 1, S. 67 – 73
- EICHHORN, J.: MISKAM, Handbuch zur Version 6. Wackernheim: Giese Eichhorn, 2011
- EICHHORN, J.; KNIFFKA, A.: The numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. In: Meteorologische Zeitschrift 19 (2010), 1, S. 81 – 90
- GEWERBEAUF SICHTSAMT (GAA) HILDESHEIM: Modellgestützte Voruntersuchung zur Fortschreibung des Luftreinhalteplanes im Rahmen der NO₂-Notifizierung; Hannover; 09/2011.
- <http://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/luft/LRP/h/luftreinhalteplan-fuer-hannover-8921.html> (01.07.2019)
- GROSS, G.: Numerical Simulation of Canopy Flows. Berlin: Springer, 1993
- HAGEMEI ER, M.: Funktionale Kronenarchitektur mitteleuropäischer Baumarten am Beispiel von Hängebirke, Waldkiefer, Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und Rotbuche. Göttingen, Universität, Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften. Diss., 2002
- INGENIEURBÜRO LOHMEYER: WinMiskam; Miskam für Windows; Handbuch; Stand: 24.01.2013.
- http://www.lohmeyer.de/de/system/files/content/download/software/hb_winmisk.pdf (01.07.2019)
- LAUSCHER, F.: Analysen des Jahresverlaufs der Belaubung von Bäumen und Sträuchern. In: Phytion 28 (1988), 1, S. 91 – 107
- LANGNER, M.: Exponierter innerstädtischer Spitzahorn (Acer platanoides) – eine effiziente Senke für PM₁₀? Karlsruhe, Universität, Institut für Geographie und Geoökologie. Diss., 2006
- LARCHER, W.: Ökophysiologie der Pflanzen. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2001
- LENSCHOW, P.; ABRAHAM, H. J.; KUTZNER, K.; LUTZ, M.; PREUSS, J. D.; REICHENBÄCHER, W.: Some ideas about the sources of PM₁₀. Atmospheric Environment 35 (2001), 1, S. 23 – 33
- LÖCHTER, A.; SEIFERT, A.: Modellsystem zur Berechnung des Abriebs und anderer luftgetragener Schadstoffe des Schienenverkehrs. Immissionsschutz (2007), 4, S. 169 – 175
- NEUNHÄUSERER, L.; DIEGMANN, V.; GÄSSLER, G.; PFÄFFLIN, F.: Stand der Modellierungstechnik zur Prognose der NO₂-Konzentrationen in Luftreinhalteplänen nach der 39. BImSchV. Freiburg: IVU Umwelt, 2011. Forschungsbericht. Forschungskennzahl 363 01 333 im Auftrag des Umweltbundesamtes
- Richtlinie VDI 3782 Blatt 1: Januar 2016. Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle; Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen. Berlin: Beuth
- Richtlinie VDI 3783 Blatt 9: Mai 2017. Umweltmeteorologie; Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle; Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung. Berlin: Beuth
- Richtlinie VDI 3783 Blatt 14: August 2013. Umweltmeteorologie; Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung; Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. Berlin: Beuth
- Richtlinie VDI 3786 Blatt 2: Mai 2018. Umweltmeteorologie; Meteorologische Messungen; Wind. Berlin: Beuth
- Richtlinie 2008/50/EG (in der Fassung vom 21.05.2008)
- RIES, K.; EICHHORN, J.: Simulation of effects of vegetation on the dispersion of pollutants in street canyons. In: Meteorologische Zeitschrift 10 (2001), 4, S. 229 – 233
- ROLOFF, A.: Bäume; Lexikon der praktischen Baumbiologie. Weinheim: Wiley-VCH, 2010
- ROMBERG, E.; BÖSINGER, R.; LOHMEYER, A.; RUHNKE, R.; RÖTH, E.: NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 56 (1996), 6, S. 215 – 218
- STROTKÖTTER, U.: Untersuchung zur Beschreibung des Einflusses der Vegetation auf die Schadstoffkonzentration im Straßenraum auf Basis des prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodells MISKAM. Rostock, Universität. Masterthesis, 2013
- UMWELTBUNDESAMT: Luftqualität in Deutschland. <http://gis.uba.de/Website/luft/index.html> (01.07.2019)
- WEVERS, C.; FRANKE, J.; HÖFFER, R.: Validierung von CFD-Simulationsprogrammen anhand der VDI Richtlinie 3783. In: Bauingenieur 83 (2008), S. 2 – 5
- ZENGER, A.: Atmosphärische Ausbreitungsmodellierung, Grundlagen und Praxis. Berlin: Springer, 1998

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Friedrich-Ebert-Straße	8	Tabelle 18: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der östlichen Seite der Friedrich-Ebert-Straße	52
Tabelle 2: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Friedrich-Ebert-Straße	10	Tabelle 19: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 3,9 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der nördlichen Seite der Marienstraße	53
Tabelle 3: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Marienstraße	12	Tabelle 20: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der südlichen Seite der Bornumer Straße	55
Tabelle 4: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Marienstraße	14	Tabelle 21: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m und 1,5 m zur Bebau- ung auf der östlichen Seite der Göttinger Straße	55
Tabelle 5: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Bornumer Straße	16	Tabelle 22: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse der MISKAM-Berechnungen und der Messungen des LÜN zum Bezugsjahr 2018	58
Tabelle 6: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Bornumer Straße	19		
Tabelle 7: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte in der Göttinger Straße	21		
Tabelle 8: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Göttinger Straße	25		
Tabelle 9: Verkehrsdaten der untersuchten Straßen	27		
Tabelle 10: Blattflächendichte für Vegetation im belaubten (LAD _b) und unbelaubten Zustand (LAD _u)	30		
Tabelle 11: Kenndaten der DWD-Station Hannover	30		
Tabelle 12: Bodentypen und Rauigkeitslängen nach Eichhorn (2011)	32		
Tabelle 13: Steuerparameter der Strömungsberechnung	32		
Tabelle 14: Steuerparameter der Ausbreitungsrechnung	33		
Tabelle 15: Steuerparameter verkehrserzeugte Turbulenz	33		
Tabelle 16: Datenbasis zur Ermittlung der Gesamtbelastung mittels des Chemiemodells nach Düring (2011)	35		
Tabelle 17: Berechnungs- und Messergebnisse für die vier Hannoveraner Untersuchungsgebiete	36		



9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Friedrich-Ebert-Straße	7	Abbildung 16: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Göttinger Straße	21
Abbildung 2: Querschnitt der Straßenschlucht der Friedrich-Ebert- Straße mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (gelbe Markierung)	8	Abbildung 17: Querschnitt der Straßenschlucht der Göttinger Straße mit LÜN-Messcontainer (Blickrichtung Nord)	22
Abbildung 3: Die Straßenschlucht der Friedrich-Ebert-Straße mit Blickrichtung Nord	9	Abbildung 18: Die Straßenschlucht der Göttinger Straße mit Blick- richtung Süd	23
Abbildung 4: Orthofoto mit dem Straßenzug der Friedrich-Ebert-Straße und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung	9	Abbildung 19: Orthofoto mit der Straßenschlucht der Göttinger Straße und dem Standort der Messstation	24
Abbildung 5: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Friedrich-Ebert-Straße	10	Abbildung 20: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Göttinger Straße	25
Abbildung 6: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Marienstraße	11	Abbildung 21: Blick in den Kronenraum einer Platane (Friedrich-Ebert- Straße) oben links, einer Linde (Bornumer Straße) oben rechts, einer Robinie (Marienstraße) unten links und einer Schwedischen Mehlbeere (Bornumer Straße) in der Vegetationsphase	29
Abbildung 7: Querschnitt der Straßenschlucht der Marienstraße mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung)	12	Abbildung 22: Windrichtungsverteilung der DWD Station Hannover für das Jahr 2018 (links) und den Zeitraum 2007 bis 2016 (rechts)	31
Abbildung 8: Die Straßenschlucht der Marienstraße mit Blick- richtung Ost	13	Abbildung 23: Zusammensetzung der NO ₂ -Immission innerhalb eines Stadtgebietes (vgl. Lenschow et al. 2001, geändert)	34
Abbildung 9: Orthofoto mit dem Straßenzug der Marienstraße und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung	13	Abbildung 24: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Friedrich-Ebert-Straße in Höhe der Messung (2,7 m)	37
Abbildung 10: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Marienstraße	15	Abbildung 25: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Friedrich-Ebert-Straße im Bereich der NO ₂ -Messung über eine Höhe von 0 bis 15 m (Darstellung mit Blickrichtung Nord)	38
Abbildung 11: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Bornumer Straße	16	Abbildung 26: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbe- gleitenden Bebauung auf der östlichen Seite zwischen Bangemannweg (links) und Konrad-Hänisch-Straße (rechts über eine Höhe von 0 bis 15 m (Legende: siehe Abbildung 25)	38
Abbildung 12: Querschnitt der Straßenschlucht der Bornumer Straße mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung)	17	Abbildung 27: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Abstand von 9,5 m zum westlichen Fahrbahnrand der Friedrich-Ebert-Straße (B6) zwischen Baxmannweg (links) und Konrad-Hänisch-Straße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 15 m (Legende: siehe Abbildung 25)	39
Abbildung 13: Straßenschlucht der Bornumer Straße mit Blick- richtung Ost	18		
Abbildung 14: Orthofoto mit der Straßenschlucht der Bornumer Straße und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung	18		
Abbildung 15: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in der Bornumer Straße	20		



Abbildung 28: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Marienstraße in Höhe der Messung (2,7 m)	41
Abbildung 29: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Marienstraße im Bereich der NO ₂ -Messung über eine Höhe von 0 bis 24 m (Darstellung mit Blickrichtung West)	43
Abbildung 30: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur nördlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Berliner Allee (links) und Kestnerstraße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 24 m (Legende: siehe Abbildung 31)	44
Abbildung 31: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur südlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Sallstraße (links) und Am Südbahnhof (rechts) über eine Höhe von 0 bis 24 m	44
Abbildung 32: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Bornumer Straße in Höhe der Messung (2,7 m)	46
Abbildung 33: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Bornumer Straße im Bereich der NO ₂ -Messung des LÜN über eine Höhe von 0 bis 22,5 m (Darstellung mit Blickrichtung Südwest)	46
Abbildung 34: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur südlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Sporlederweg (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 22,5 m (Legende: siehe Abbildung 35)	47
Abbildung 35: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur nördlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Sporlederweg (links) und Deisterplatz rechts) über eine Höhe von 0 bis 22,5 m	47
Abbildung 36: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt der Göttinger Straße in Höhe von 1,5 m	48
Abbildung 37: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt der Göttinger Straße im Bereich der Probenahmestelle des LÜN über eine Höhe von 0 bis 25 m (Darstellung mit Blickrichtung Nord)	49
Abbildung 38: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur östlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Behnsenstraße (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 25 m (Legende: siehe Abbildung 39)	50
Abbildung 39: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur westlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Behnsenstraße (links) und Deisterplatz (rechts) über eine Höhe von 0 bis 25 m	50
Abbildung 40: NO ₂ -Konzentration im Straßenabschnitt der Friedrich-Ebert-Straße in 1,5 m Höhe	52
Abbildung 41: NO ₂ -Konzentration im Straßenabschnitt der Marienstraße in 3,9 m Höhe	54
Abbildung 42: NO ₂ -Konzentration im Straßenabschnitt der Bornumer Straße in 1,5 m Höhe	54
Abbildung 43: NO ₂ -Konzentration im Straßenabschnitt der Göttinger Straße in 1,5 m Höhe	56