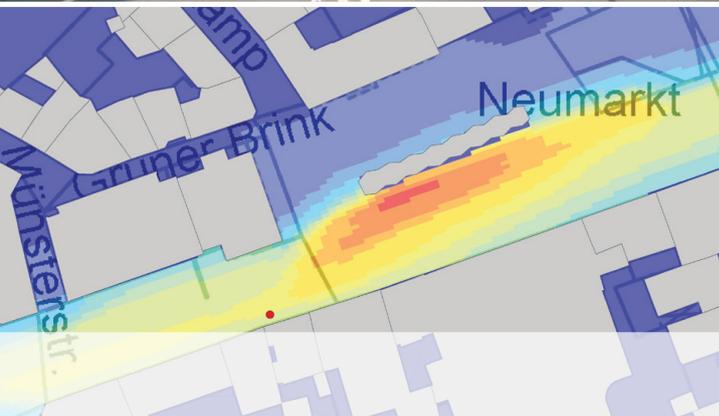




Staatliches
Gewerbeaufsichtsamt
Hildesheim



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

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



Niedersachsen



Herausgeber

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim

Goslarsche Straße 3, 31134 Hildesheim
Hildesheim, Juni 2020

Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm,
Gefahrstoffe und Störfallvorsorge (ZUS LLGS),
Dezernat 41



Inhalt

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.....	4
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	6
3.1 Untersuchungsgebiet Schlosswall.....	6
3.1.1 Verkehrssituation im Schlosswall.....	7
3.1.2 Bebauungs- und Vegetationsituation im Schlosswall.....	8
3.1.3 Nutzungssituation der Gebäude im Schlosswall	9
3.2 Untersuchungsgebiet Neuer Graben/Neumarkt	12
3.2.1 Verkehrssituation im Bereich Neuer Graben und Neumarkt	12
3.2.2 Bebauungs- und Vegetationsituation im Bereich Neuer Graben und Neumarkt	13
3.2.3 Nutzungssituation der Gebäude im Bereich Neuer Graben und Neumarkt.....	15
4. Ausgangsdaten	17
4.1 Verkehrsemissionen	17
4.2 Gebäudedaten.....	18
4.3 Vegetationsdaten.....	18
4.3.1 Vegetationsbedeckungsgrad.....	18
4.3.2 Blattflächendichte.....	19
4.4 Meteorologie.....	19
4.5 Modellparameter	21
4.5.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung.....	21
4.5.2 Rauigkeitslänge	21
4.5.3 Modellierung der Emissionsquellen	22
4.5.4 Steuerparameter.....	22
5. Berechnungsszenarien und -ergebnisse	23
5.1 Methodik zur Ermittlung der Vor- und Gesamtbelastung.....	23
5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten des LÜN	24
5.3 Qualitative Darstellung der räumlichen Konzentrationsverteilung im Straßenraum.....	25
5.3.1 Konzentrationsverteilung im Schlosswall.....	26
5.3.2 Konzentrationsverteilung im Bereich Neuer Graben/Neumarkt	30
5.4 Quantitative Darstellung der Konzentrationsverteilung im Bereich der Gebäude.....	33
5.4.1 NO ₂ -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung im Schlosswall	33
5.4.2 NO ₂ -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in den Straßen Neuer Graben und Neumarkt	34
6 Zusammenfassung und Ausblick	36
7. Literaturverzeichnis	38
8. Tabellenverzeichnis	39
9. Abbildungsverzeichnis	40

1. Aufgabenstellung und 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, Hannover und Osnabrück die Verteilung der Konzentration von Stickstoffdioxid (NO_2) zu untersuchen. Dieser Bericht beschreibt die Untersuchung für die verkehrsnahen Messstandorte in Osnabrück. Diese befinden sich in den Straßen Schlosswall (DENI067) und Neuer Graben (DENI146).

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 verwendet. Der Name MISKAM steht für Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Das verwendete Modell ist für die Durchführung von Strömungs- und Ausbreitungsberechnungen in bebautem Gebiet grundsätzlich geeignet. 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 Bewegungsgleichungen 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 ver-



standen 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 Luftreinhaltungsplanung. 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 Ergebnisse numerischer Berechnungen und Windkanalmessungen.

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 wurden die Strömung und die Schadstoffverteilung innerhalb einer Straßenschlucht mit Baumreihen zu jeder Straßenseite untersucht. Dabei wurde insbesondere die Veränderung von Windgeschwindigkeit und 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- ϵ -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.

Die Eignung des eingesetzten Modells MISKAM ist für die vorliegende Aufgabenstellung hinreichend belegt.

3. Untersuchungsgebiete

Die zwei zu untersuchenden Straßenabschnitte sind im Stadtgebiet von Osnabrück lokalisiert. Die interessierenden Bereiche der Straßen Schlosswall und Neuer Graben / Neumarkt liegen dabei in einer Entfernung von wenigen hundert Meter zueinander.

3.1 Untersuchungsgebiet Schlosswall

Das Untersuchungsgebiet des Schlosswalls besitzt eine Ausdehnung von 700 m x 1.000 m. Im Kern des Untersuchungsgebietes liegt der Schlosswall, der Teil einer Ringstraße um den Innenstadtkern ist. Das Untersuchungsgebiet ist als weitestgehend eben zu bezeichnen.

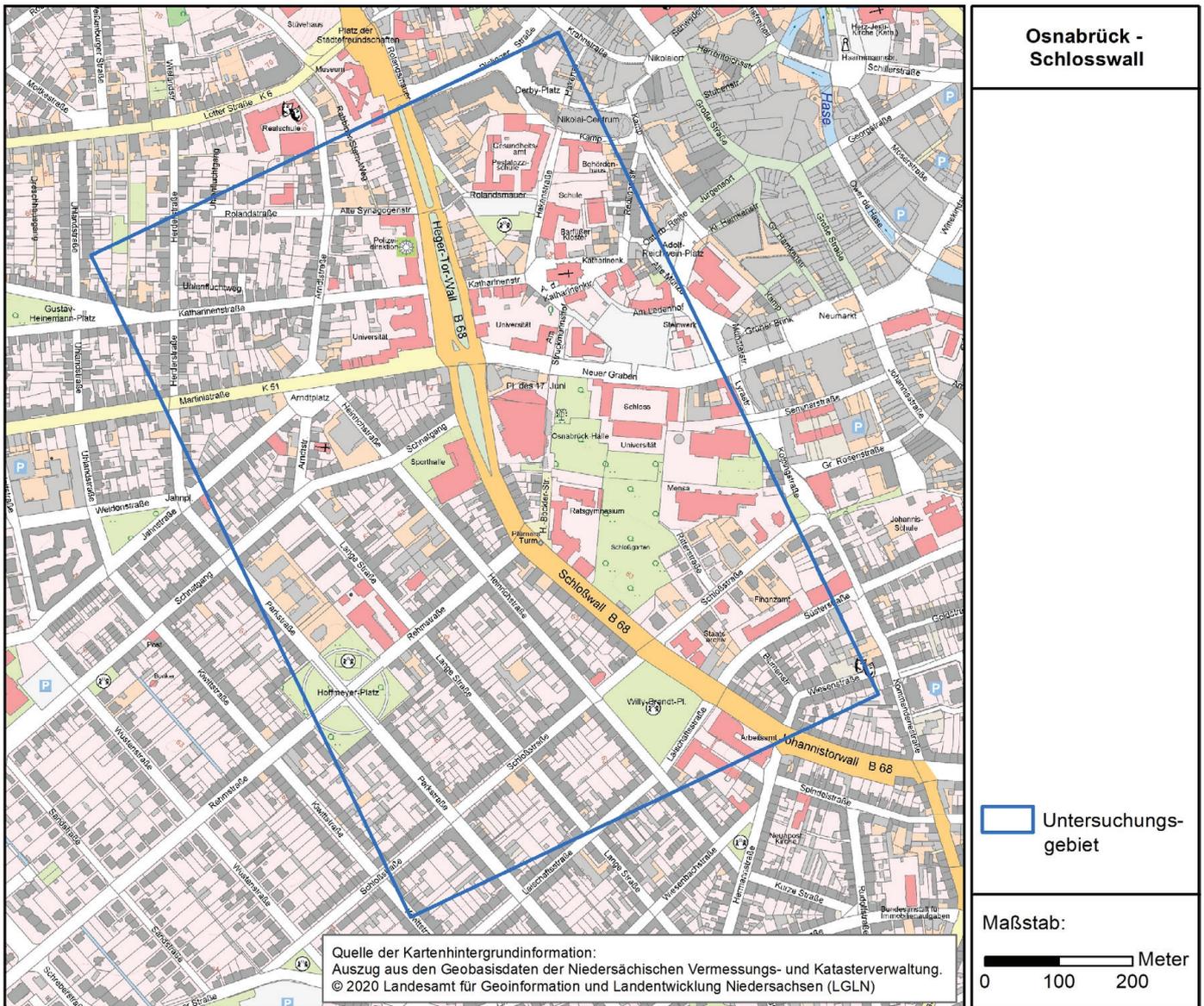


Abbildung 1: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Schlosswall

3.1.1 Verkehrssituation im Schlosswall

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet ist der topographischen Karte in Abbildung 1 zu entnehmen. Der Schlosswall ist in dem zu untersuchenden Abschnitt beidseitig bebaut. Der Schlosswall ist Teil der Bundesstraße 68 und repräsentiert den südwestlichen Teil der Ringstraße um den Innenstadtkern. Er schließt nach Norden hin an den Heger-Tor-Wall und nach Südosten hin an den Johannistorwall an. Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, verläuft der Schlosswall von Norden aus in südsüdöstliche Richtung. Am Übergang zum Heger-Tor-Wall befindet sich ein Kreuzungsbereich mit der von Westen kommenden Martinstraße und dem von Osten anschließenden Neuen Graben. Im weiteren Verlauf nach Süden wird der zu untersuchende Straßenabschnitt durch einen weiteren Kreuzungsbereich mit einer Lichtsignalanlage

begrenzt. Hier stoßen von Westen die Rehmstraße und von Osten die Hans-Böckler-Straße auf den Schlosswall. Der Schlosswall weist ein für innerstädtische Verhältnisse mittleres Verkehrsaufkommen auf. Dominant sind mit einem Anteil von mehr als 90 % der gesamten Verkehrsmenge die Pkw. Die anteilig nächstgrößte Fahrzeuggruppe sind die leichten Nutzfahrzeuge mit einem Anteil von rund 5%. Im Bereich des zur Untersuchung relevanten Abschnittes ist die Straße im Wesentlichen vierspurig. Allein die nach Norden führende Fahrbahn in Richtung des Neuen Grabens weitet sich zur Kreuzung hin mit einer Abbiegespur auf 3 Fahrstreifen auf. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt in diesem Bereich 50 km/h. Nach Angaben der Stadt Osnabrück ist für den Schlosswall von einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) von ca. 29.200 Kraftfahrzeugen auszugehen. Die Zusammensetzung der

Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	26.835	91,9
Kraft- und Motorräder	292	1,0
Bus	29	0,1
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	1.518	5,2
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	526	1,8

Tabelle 1:
Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte im Schlosswall

Kraftfahrzeugflotte im Schlosswall ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Die Daten wurden von der Stadt Osnabrück in 2017 zur Verfügung gestellt.

3.1.2 Bbauungs- und Vegetationssituation im Schlosswall

Der Schlosswall ist im Untersuchungsgebiet in weiten Teilen beidseitig bebaut. Im südlichen Teil des zu untersuchenden Abschnitts weist der Schlosswall straßenbegleitende Bebauung auf, die vereinzelt nicht direkt aneinander anschließt, sondern Abstände von wenigen Metern zueinander aufweist. Die Bebauung weist in diesem Abschnitt der Straße eine weitestgehend homogene Höhe von 13 – 17 m auf, die Breite der Straßenschlucht beträgt etwa 27 m. In diesem südlichen Teil des Straßenabschnittes hebt sich die östliche Straßenseite von der Westlichen dadurch ab, dass hier zwischen Fahrbahn und Bebauung ein Grünstreifen mit Sträuchern und Bäumen existiert. Auf der westlichen Seite ist zwischen Fahrbahn und der Bebauung ein Parkstreifen für Pkw vorgesehen, der vereinzelt durch Bäume unterbrochen wird. Weiter in nördlicher Richtung zur Kreuzung mit dem

Neuen Graben und der Martinstraße hin ändert sich das Bild der straßenbegleitenden Bebauung. Auf der westlichen Seite schließt sich an die Wohnbebauung eine Sporthalle an. Auf der östlichen Seite folgt auf die Wohnbebauung die Stadthalle, die einen deutlichen größeren Abstand zur Fahrbahn aufweist als die Wohnbebauung im südlicheren Abschnitt. Auf Höhe des Übergangs von Wohnbebauung zur Stadthalle beginnt ein sich in nördliche Richtung fortsetzender und sich aufweitender Grünstreifen zwischen den nach Norden und Süden verlaufenden Fahrspuren, der bis zum folgenden Kreuzungsbereich eine Breite von bis zu 20 m erreicht und durch Baumbestand geprägt ist. Die nachfolgende Grafik zeigt den Querschnitt der Straßenschlucht am Ort der Messstation.

Die Straßenschlucht des Schlosswalls gliedert sich von Westen nach Osten in einen Gehweg, einen Parkstreifen für Kfz, einen Radweg, die in diesem Bereich vierspurige Straße, einen Grünstreifen, einen Radweg und einen Gehweg. Vegetation ist im Untersuchungsgebiet in unterschiedlich starker Ausprägung vorhanden. In dem nördlicheren Teil des untersuchten Straßenabschnitts, welcher sich von der Stadthalle bis hin zur Kreuzung mit dem Neuen Graben und

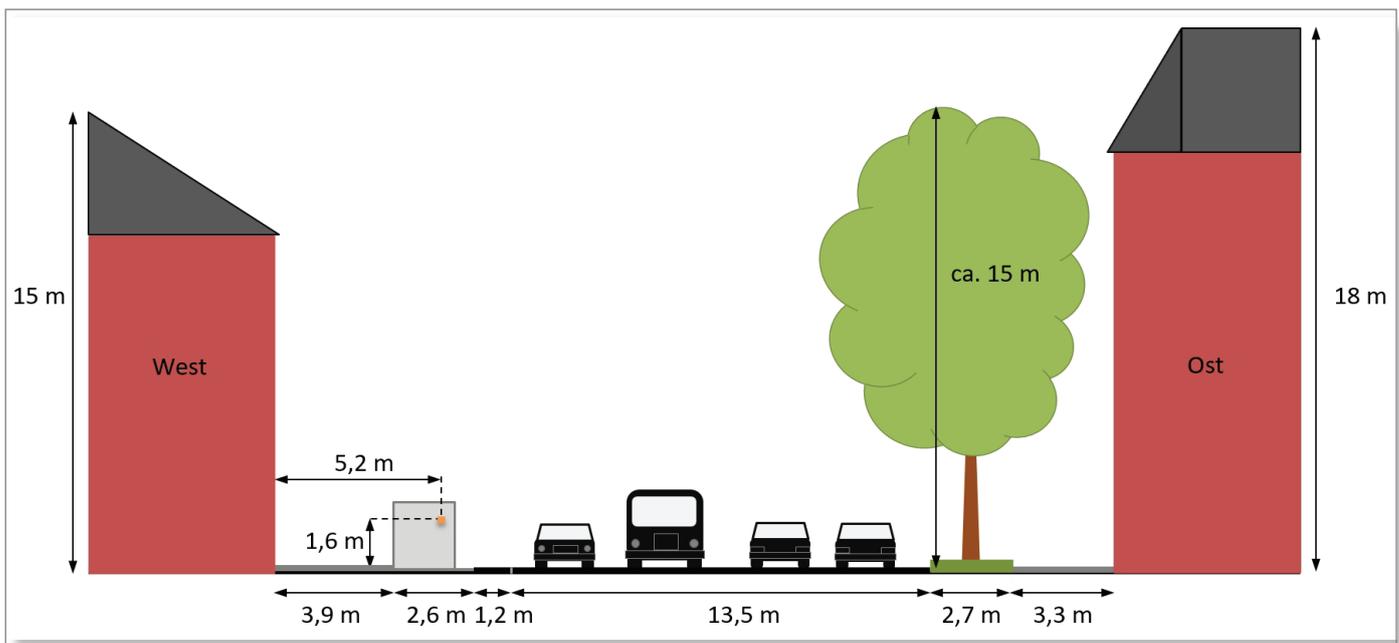


Abbildung 2: Querschnitt der Straßenschlucht des Schlosswalls mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung)



Abbildung 3: Straßenschlucht des Schlosswalls mit Blickrichtung Nord

der Martinstraße erstreckt, befinden sich auf dem Grünstreifen zwischen den Fahrbahnen im Wesentlichen hochgewachsene Linden und Platanen mit einer Höhe von bis zu ca. 22 m. Im südlichen Teil des zu untersuchenden Straßenabschnitts zwischen der Stadthalle und der einmündenden Hans-Böckler-Straße finden sich zwischen Fahrbahn und der Bebauung mehrere ca. 15 m hohe Linden (siehe Abbildung 3). Die Baumkronen weisen eine Breite bis zu 10 m auf, so dass sie auf der jeweiligen Straßenseite den Gehweg und die erste Fahrspur überragen. Die unten stehende Fotoaufnahme, welche die Vegetation in der Straßenschlucht im belaubten Zustand zeigt, verdeutlicht dies.

Die räumliche Ausdehnung der Vegetation, hier im unbelaubten Zustand, wird durch das Orthofoto in Abbildung 4 veranschaulicht. Hier ist die Verortung der Bäume am Straßenrand und zwischen den Fahrbahnen gut zu erkennen.

Die Länge dieses weitestgehend beidseitig bebauten und mit einzelnen Bäumen versehenen Straßenabschnittes des Schlosswalls beträgt ca. 165 m.

3.1.3 Nutzungssituation der Gebäude im Schlosswall

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 des Schlosswalls erforderlich. Dazu wurden zum einen von der Stadt Osnabrück Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich des Schlosswalls wohnen, zur Verfügung gestellt. Die Anwohnerzahlen wurden dabei gebäudescharf angegeben. Zum anderen wurde im Rahmen einer Ortsbegehung am 27.08.2019 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.

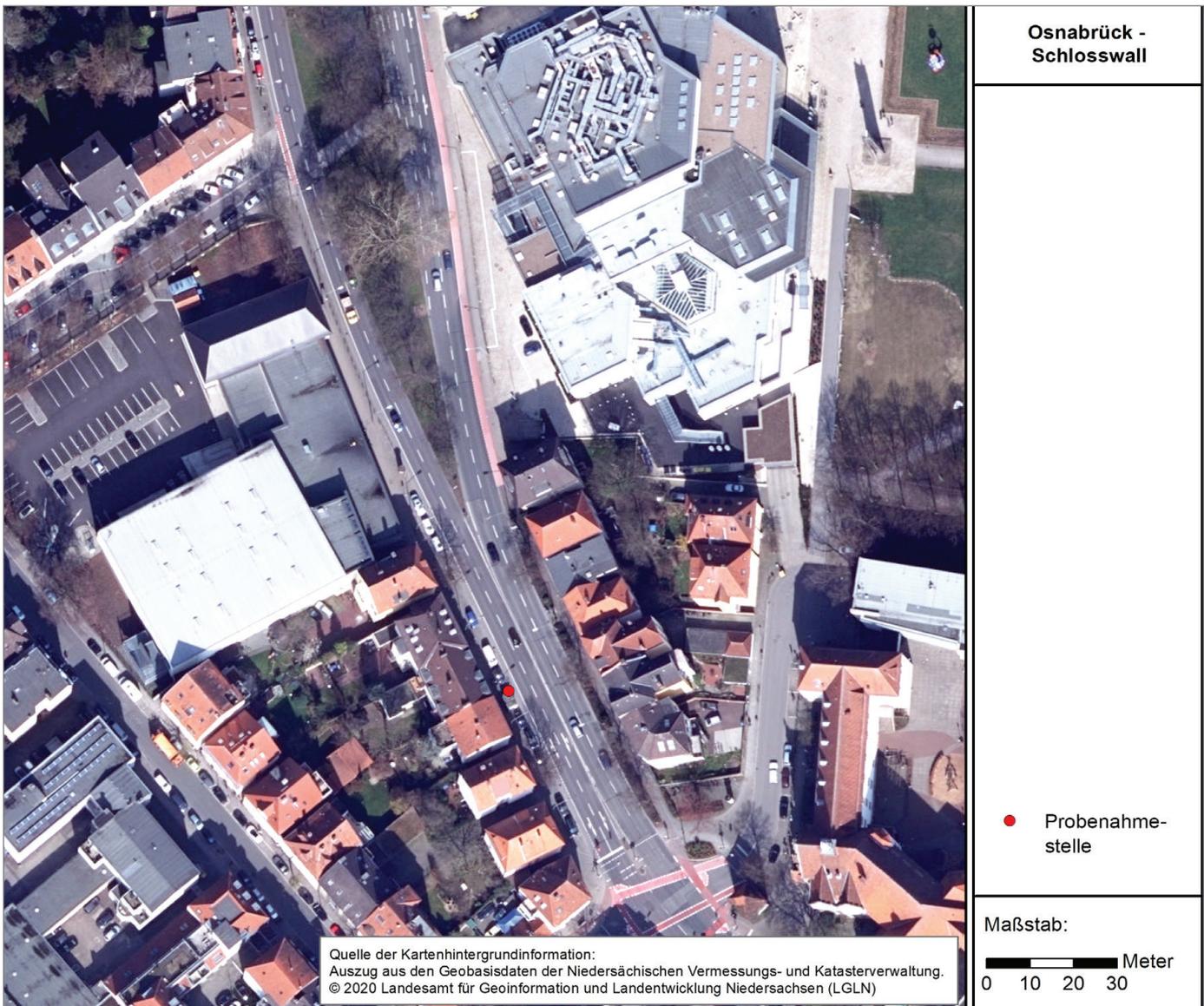


Abbildung 4: Orthofoto mit dem Straßenzug des Schlosswalls und der Lage der Messstation des LÜN

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 der Sport- und der Stadthalle sowie des Gebäudes im Schlosswall 16, ist zum Stand 27.08.2019 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 Abbildung 5 die betrachteten Gebäude mit den Hausnummern dargestellt.



Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG und höher
Schlosswall 9	0	Kultur	
Schlosswall 17	13	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 19	8	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 21	6	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 23	6	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 25	11	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 27	8	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 29	9	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 10	0	Sport	
Schlosswall 12	14	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 14	8	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 16	5	Religion	Wohnen
Schlosswall 18	2	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 20	4	Wohnen	Wohnen
Schlosswall 22	15	Wohnen	Wohnen

Tabelle 2:
Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt des Schlosswalls

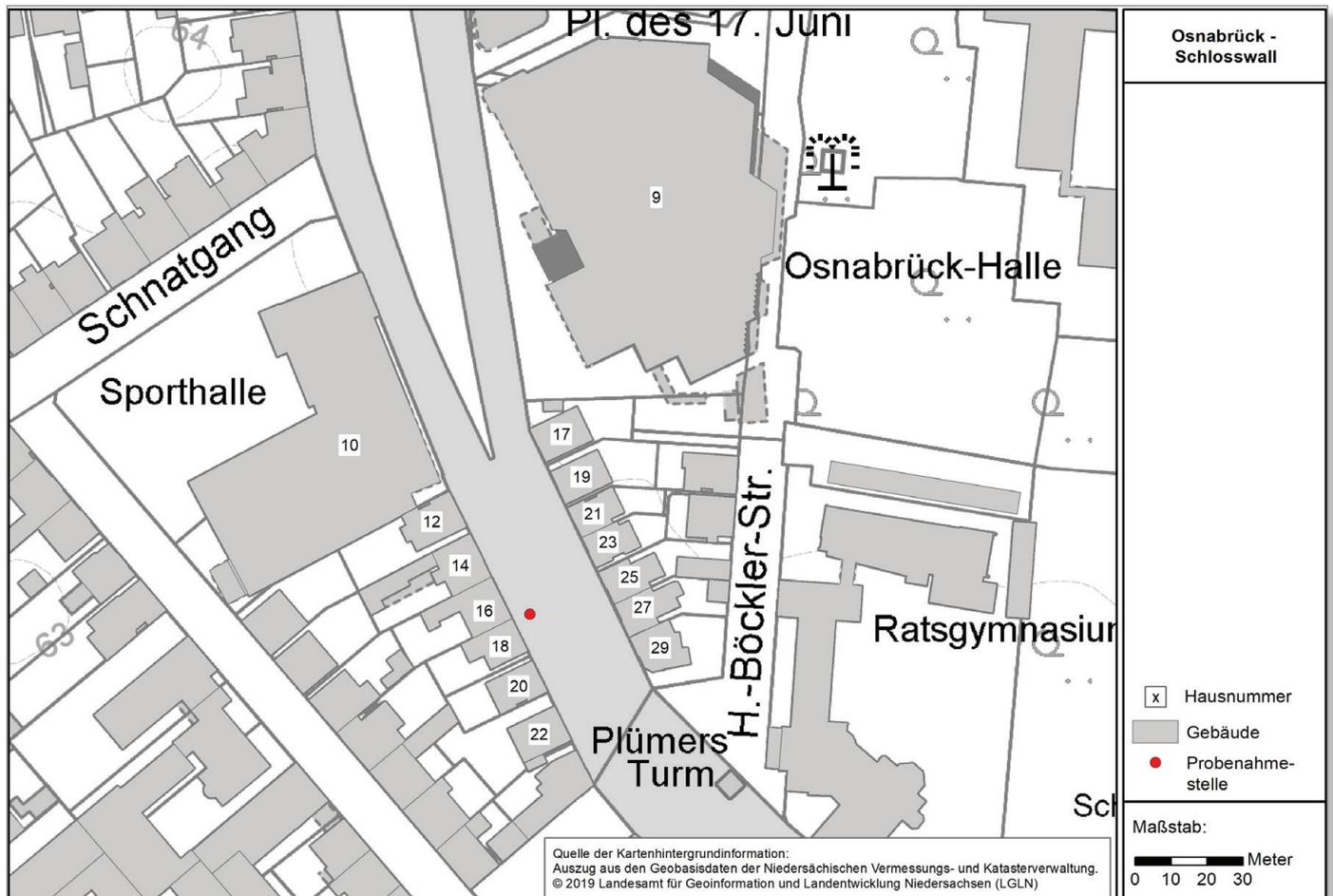


Abbildung 5: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden im Schlosswall

3.2 Untersuchungsgebiet Neuer Graben/Neumarkt

Das Untersuchungsgebiet Neuer Graben/Neumarkt weist eine Abmessung von 1.000 m x 700 m auf. Die von Westsüdwest nach Ostnordost verlaufenden Straßen Neuer Graben und Neumarkt liegen im Zentrum des Rechengebietes. Das Untersuchungsgebiet ist weitestgehend eben. Der Neumarkt ist in den letzten Jahren einem stetigen Wandel in Bezug auf die Bebauungssituation und Verkehrsführung unterworfen.

3.2.1 Verkehrssituation im Bereich Neuer Graben und Neumarkt

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet Neuer Graben/Neumarkt ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Straße Neuer Graben ist beidseitig bebaut und verläuft in Westsüdwest-Ostnordost-Richtung. Sie verläuft ausgehend von der Ringstraße um den Stadtkern zwischen Schlosswall und Heger-Tor-Wall in das Stadtzentrum hinein bis hin zum Neumarkt. Der Neumarkt ist verkehrstechnisch von hoher Bedeutung. Er stellt den zentralen Knotenpunkt für den Busverkehr der Stadt Osnabrück sowie der Umlandgemeinden dar. Neben Stadtlinien, welche durch die Stadt-

werke Osnabrück bedient werden, gibt es Linien in die Nachbarkommunen, welche durch verschiedene Anbieter unterhalten werden.

Der untersuchte Abschnitt der Straße Neuer Graben und des Neumarkts ist im Westen durch die Ampelkreuzung mit der Lyrastraße und der Straße Alte Münze begrenzt. Nach Osten hin endet der Untersuchungsabschnitt am Neumarkt auf Höhe der Johannisstraße. Der Kreuzungsbereich mit der Johannisstraße ist mit einer Lichtsignalanlage für Kfz und Fußgänger versehen.

Die Verkehrssituation am Neumarkt war in den letzten Jahren sehr veränderlich. Seit 2014 ist der Neumarkt dreimal für den motorisierten Individualverkehr geschlossen und wieder geöffnet worden. Die letzte Schließung erfolgte am 13.10.2017 und bestand bis zum 02.02.2018. Seitdem ist der Neumarkt wieder für den motorisierten Individualverkehr geöffnet. Mit der Maßnahme der Sperrung und deren Aufhebung gingen auch Änderungen in Bezug auf die Verkehrsführung einher. In dieser Untersuchung ist die Verkehrsführung für die nach Osten verlaufende Fahrtrichtung mit zwei Fahrspuren berücksichtigt, wobei die rechte Fahrspur dabei als Busspur ausgeführt ist. Für die Fahrtrichtung West stellt sich die Verkehrsführung so dar, dass auf Höhe

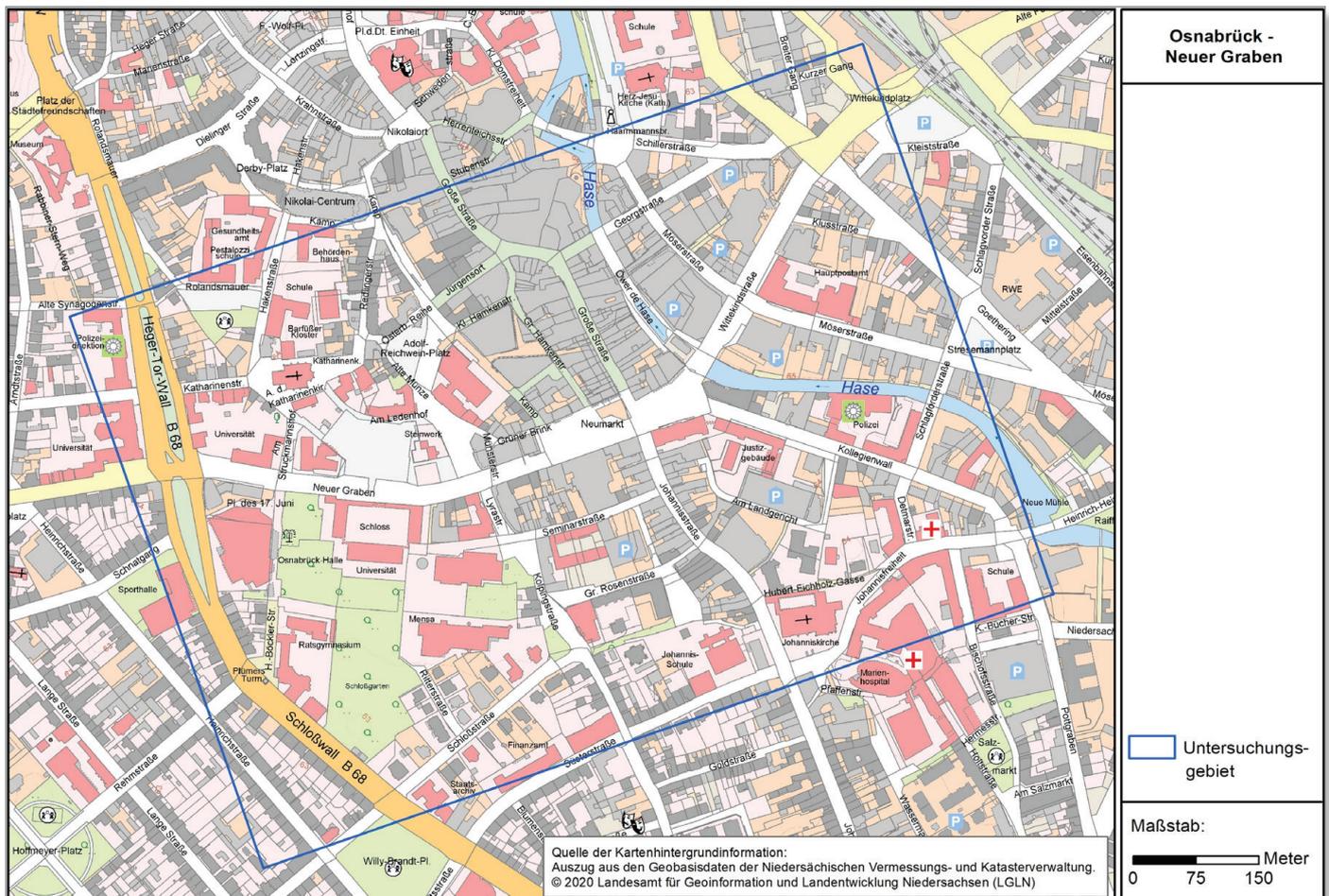


Abbildung 6: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Neuer Graben/ Neumarkt



Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	12.827	89,7
Kraft- und Motorräder	143	1,0
Bus	1.187	8,3
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	72	0,5
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	72	0,5

Tabelle 3: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte für die Straßen Neuer Graben und Neumarkt

der Johannisstraße eine Fahrspur existiert, die sich nach ca. 20 m auf zwei Fahrspuren aufweitet. Die rechte Fahrspur ist auch hier eine Busspur. Sie führt direkt an den Haltestellenbereich am Neumarkt heran, so dass auf dieser Spur die Busse an den Haltestellen auch halten um Fahrgäste ein- und aussteigen zu lassen. Die Aufteilung mit zwei Fahrspuren pro Fahrtrichtung und jeweils einer Busspur im Bereich Neumarkt wird in der Straße Neuer Graben fortgeführt.

Die Straßen Neuer Graben und Neumarkt weisen mit einem DTV von 14.300 Kraftfahrzeugen pro Tag ein im Verhältnis zu anderen innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen eher geringes Verkehrsaufkommen auf. Dominant in Bezug auf die Anzahl sind die Pkw mit einem Anteil von 90 %. Leichte und schwere Lastkraftwagen spielen mit einem Anteil von jeweils 0,5 % eine eher untergeordnete Rolle. Den

zweigrößten Anteil am Verkehrsaufkommen haben mit gut 8 % die Busse. Diese sind emissionsseitig von erheblicher Relevanz.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit für die Straßen beträgt 50 km/h. Die Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte für die Straßen Neuer Graben und Neumarkt ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Daten wurden von der Stadt Osnabrück in 2017 zur Verfügung gestellt.

3.2.2 Bebauungs- und Vegetationssituation im Bereich Neuer Graben und Neumarkt

Die Straßenschlucht der Straßen Neuer Graben und Neumarkt ist durch eine beidseitige straßenbegleitende Bebauung geprägt (siehe Abbildung 6). Dabei variiert der Abstand

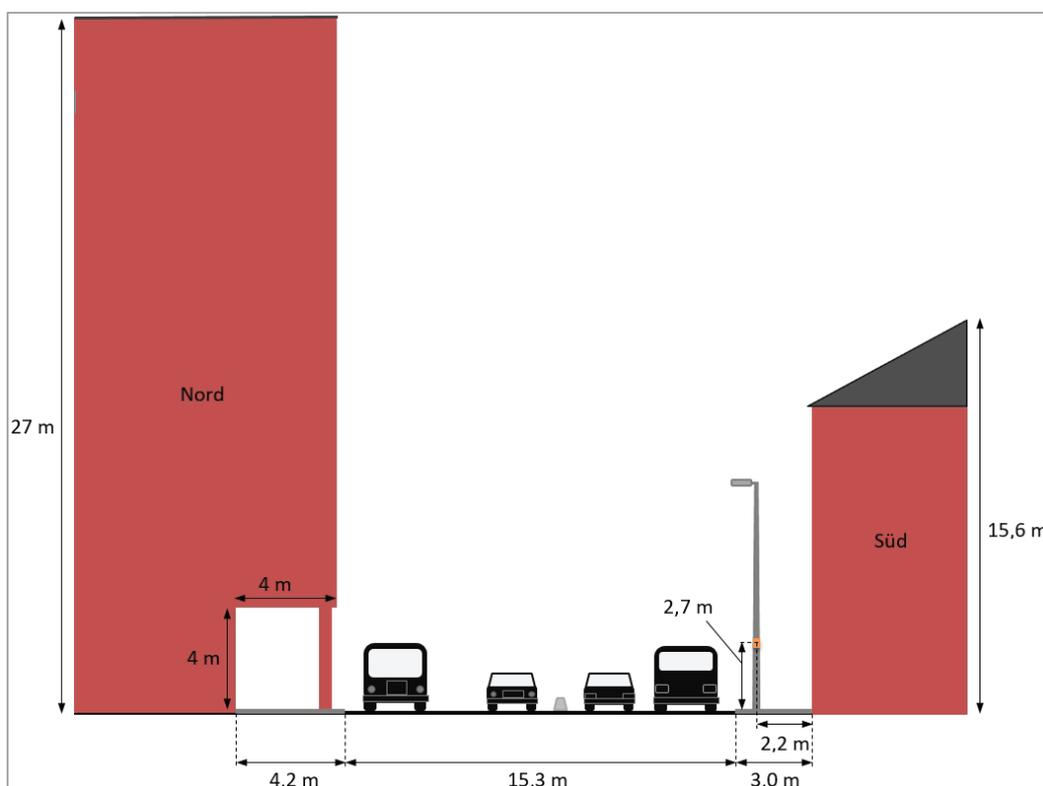


Abbildung 7: Querschnitt der Straßenschlucht der Straße Neuer Graben mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung).

der Bebauung zur Fahrbahn. Im Bereich der Straße Neuer Graben ist die Fahrbahn durch die 3 bis 4 m breiten Gehwege von der Bebauung getrennt; die Breite der Straßenschlucht beträgt hier bis zu 22 m. In diesem Teil der Straße ist auch der Standort der Stickstoffdioxidmessung des LÜN lokalisiert. Die Abbildung 7 veranschaulicht die Geometrie der Straßenschlucht an diesem Ort.

Die Höhe der Bebauung variiert im Bereich Neuer Graben deutlich. Die Gebäudehöhen betragen zwischen 14 und 30 m, wobei der Großteil der Gebäude zwischen 14 und 16 m hoch ist.

Im Bereich Neumarkt wandelt sich das Bild von einer Straßenschlucht hin zu einem weitläufigeren Platz. Während die Bebauung auf der südlichen Seite straßenparallel mit Abständen von 3 bis 5,5 m zur Fahrbahn verläuft, ist sie auf der nördlichen Seite deutlich zurückgesetzt. Hier beträgt der Abstand zur Fahrbahn zwischen 26 und 32 m. Der Abstand zwischen der nördlichen und südlichen Bebauung beträgt in diesem Bereich ca. 50 m. Die Höhe der Gebäude variiert auch hier mit Werten zwischen 7 und 30 m erheblich.

Die Straßenschlucht im Bereich der Stickstoffdioxidmessung setzt sich von Norden nach Süden aus einem unter Arka-

den verlaufenden Gehweg, einer vierspurigen Fahrbahn inklusive Radweg auf der nördlichen Fahrbahn und einem Gehweg zusammen. Der Fahrbahnbereich, der auf der nördlichen Seite in eine Busspur, einen Radweg und eine Pkw-Spur unterteilt ist, war von der südlichen Fahrbahnseite zur Zeit der Vor-Ort-Begehung durch eine bauliche Fahrbahntrennung abgegrenzt. Die südliche Fahrbahn unterteilt sich in eine Busspur und eine nördlich davon verlaufende Pkw-Spur auf. Ein Radweg war in diesem Bereich nicht auf der Fahrbahn gekennzeichnet.

Vegetation ist im Untersuchungsgebiet nur im Bereich des Neumarkt vorhanden. Hier befinden sich im nordwestlichen Bereich des Neumarkt Platanen mit einer Höhe von 15 bis 25 m. Vegetation liegt fahrbahnnah dementsprechend nur in geringem Umfang vor, siehe Abbildung 8 und Abbildung 9. Für den Neumarkt und den angrenzenden Teil der Straße Neuer Graben ist aufgrund der Ausprägung der Vegetation von einem geringen bis moderaten Einfluss auf die Durchmischung im interessierenden Straßenraum auszugehen.

Die räumliche Struktur des Straßenraums zeigt das Orthofoto in Abbildung 9. Hier sind der variierende Abstand der Bebauung zur Fahrbahn und die Anordnung der Vegetation im Straßenraum zu erkennen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Orthofoto die hier beschriebene Verkehrssitu-



Abbildung 8: Straßenschlucht Neuer Graben mit Blickrichtung Neumarkt



Abbildung 9: Orthofoto mit den Straßen Neuer Graben und Neumarkt und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung

ation zum Zeitpunkt der Vor-Ort-Begehung nicht exakt wiedergibt, z. B. im Bereich der Bushaltestelle am nördlichen Fahrbahnrand.

Die Bebauung auf der nördlichen Seite des Neumarkts wird durch kleinere einmündende Straßen unterbrochen. Diese Straßen sind jedoch verkehrsberuhigt bzw. Fußgängerzonen, so dass hier kein Kfz-Verkehr in relevantem Umfang auftritt. Die südliche Seite der Bebauung ist durchgehend, hier gibt es keine Baulücken zwischen den Gebäuden. Die Länge dieses beidseitig bebauten Straßenabschnittes des Neumarktes und der Straße Neuer Graben beträgt ca. 185 m.

3.2.3 Nutzungssituation der Gebäude im Bereich Neuer Graben und Neumarkt

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 im Bereich der Straßen Neuer Graben und Neumarkt erforderlich. Dazu wurde im Rahmen einer Ortsbegehung am 27.08.2019 durch die ZUS LLGS die Nutzung der Gebäude in entspre-

chenden Straße erhoben. Die Stadt Osnabrück hat dazu Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich der Straßen Neuer Graben und Neumarkt wohnen zur Verfügung gestellt. Die Anwohnerzahlen wurden dabei adressbezogen übermittelt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Nutzungsform der Gebäude bezogen auf die Geschosse und die Anwohnerzahlen.

Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG und höher
Neuer Graben 7	0	Bildung & Wissenschaft	Bildung & Wissenschaft
Neuer Graben 11	8	Gewerblich	Wohnen
Neuer Graben 13	4	Gewerblich	Wohnen
Neuer Graben 15	18	Gewerblich	Wohnen
Neuer Graben 17	39 ¹	Gewerblich	Gewerblich
Neuer Graben 20	0	Gewerblich	Gewerblich
Neuer Graben 22	1 ¹	Gewerblich	Gewerblich
Neumarkt 8	0	Gewerblich	Gewerblich
Neumarkt 9	0	Gewerblich	Gewerblich
Neumarkt 11	0	Gewerblich	Gewerblich
Neumarkt 13	0	Gewerblich ²	Gewerblich ²
Neumarkt 14	0	Gewerblich ²	Gewerblich
Johannisstraße 63	0	Gewerblich ²	Gewerblich
Große Hamkenstraße 24a	0	Gewerblich	Gewerblich

Tabelle 4:
Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Straßen Neuer Graben und Neumarkt

¹⁾ Die Einwohner im Gebäude sind Wohnungen zuzuordnen, die nicht zur Straße Neuer Graben orientiert sind.

²⁾ Zum Zeitpunkt der Erhebung ungenutzt.

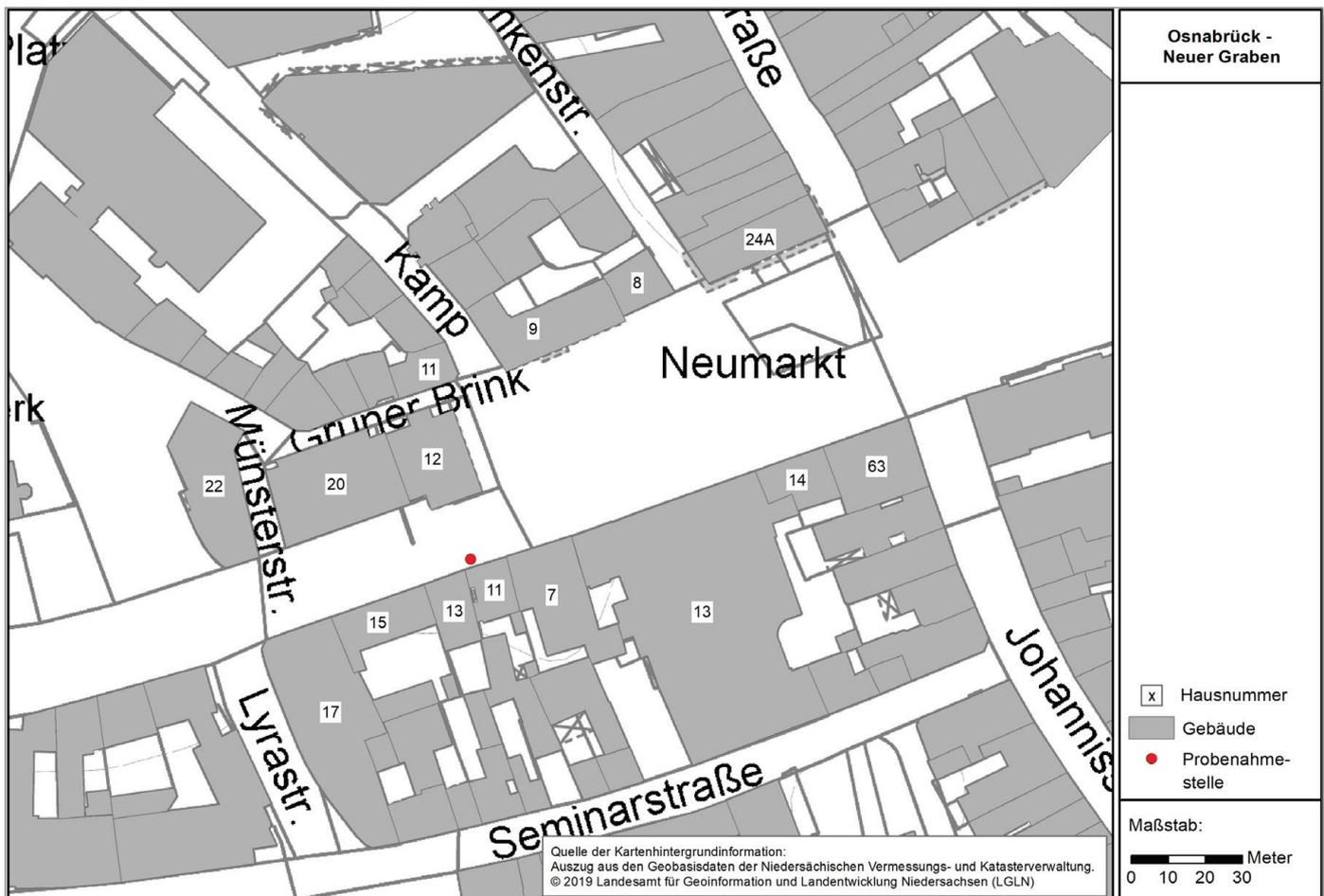


Abbildung 10: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in den Straßen Neuer Graben und Neumarkt



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 27.08.2019 reine Wohnnutzung erst im 1. Obergeschoss und darüber hinaus nur in einer geringen Anzahl von Gebäuden stattfindet. Im Erdgeschoss liegt im Wesentlichen gewerbliche Nutzung vor. Dazu gibt es mit einem Gebäude der Universität Osnabrück noch eine weitere Nutzungsform die nicht dem Wohnen dient.

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

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 Osnabrück 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 5 dargestellt.

Tabelle 5: Verkehrsdaten der untersuchten Straßen

Kategorie	Schlosswall	Neuer Graben/ Neumarkt
Verkehrsstärke (DTV) [Kfz/d]	29.200 ¹⁾	14.300 ¹⁾
Pkw	26.835	12.827
Krad	292	143
Bus	29	1.187
leichte Nutzfahrzeuge [bis 3,5 t]	1.518	72
schwere Nutzfahrzeuge [ab 3,5 t]	526	72
Straßentyp	Hauptverkehrsstraße (HVS)	Hauptverkehrsstraße (HVS)
zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	50	50
Anzahl Fahrspuren inkl. Busspuren	4	4
Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs [%]:		
freier Verkehr (LOS 1)	10	30
dichter Verkehr (LOS 2)	40	30
gesättigter Verkehr (LOS 3)	30	30
Stop-and-go (LOS 4)	20	10
NO _x -Emission [g/(m d)]	12,16	12,31
NO ₂ -Emission [g/(m d)]	3,38	3,04

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.

Zur Ermittlung der Emissionen sind neben der Verkehrsstärke und -zusammensetzung Emissionsfaktoren erforderlich. Diese sind neben dem Fahrzeugtyp und dem Baujahr 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 Osnabrück 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) in der Version 3.3 dar. Emissionsminderungen durch in 2018 umgesetzte Softwareupdates wurden anteilig berücksichtigt. 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 (NO_2).

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 Osnabrück wird auf Daten zurückgegriffen, welche vom GAA Hildesheim im Rahmen der Abschätzung der Luftschadstoffbelastung in Osnabrück beschafft wurden. Das Bezugsjahr dieser Daten ist 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 Straßengebieten unter Berücksichtigung der vorliegenden Dachformen für die vorliegende Aufgabenstellung am besten. Da in Teilen der zwei Untersuchungsgebiete seit 2013 bauliche Änderungen erfolgt sind, wurde das Gebäudemodell angepasst. Die Änderung des Gebäudemodells betrifft z. B. Bebauung im Kreuzungsbereich der Straßen Neuer Graben und Schlosswall.

4.3 Vegetationsdaten

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

In den zu untersuchenden Straßenräumen der beiden Untersuchungsgebiete tritt die Vegetation in stark unterschiedlicher Form in Erscheinung. Die Anordnung der Vegetation in den Straßenräumen kann der Abbildung 4 und der Abbildung 9 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 Gitterweiten 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 den Straßen Schlosswall und Neuer Graben / Neumarkt erfolgte über Vor-Ort-Erhebungen und über die Auswertung eines aktuellen Orthofotos (siehe Abbildung 4 und Abbildung 9).

Im Schlosswall stehen straßenbegleitend in unregelmäßigen Abständen Linden (siehe Abbildung 4), zum Teil als Solitärbäume, zum Teil zwei Bäume nebeneinander. Im Modell wurde der Kernbereich des Kronenraums berücksichtigt. Der Vegetationsbedeckungsgrad für diesen Bereich der Baumkronen der Linden wird aufgrund der Kronenform durchgängig mit 100 % angesetzt.

Im relevanten Abschnitt der Straße Neuer Graben befindet sich im Gegensatz zum Schlosswall keine Vegetation. Diese findet sich aber auf dem Neumarkt und dort im nordwestlichen Teil des Platzes. Hier befinden sich Platanen die sich über eine Länge von ca. 70 m entlang der Bebauung am Neumarkt 8 und 9 bis rüber zu den Gebäuden Neumarkt 11



und Neuer Graben 12 (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10) erstrecken. Die Platanen stehen unter Berücksichtigung der Abmessung ihres Kronenraums relativ dicht beieinander, so dass die Kronenbereiche der aufeinanderfolgenden Bäume ineinander übergehen. Im Modell wird jeweils der Kernbereich der Baumkronen als Vegetation modelliert. Diese Kronenbereiche der Platanen werden mit einem Vegetationsbedeckungsgrad von 100 % angesetzt.

4.3.2 Blattflächendichte

Die zweite Größe zur Parametrisierung der Vegetation ist die Blattflächendichte. Die Blattflächendichte (englisch Leaf area density – LAD) wird in Blattfläche (m²) pro Volumen (m³) 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:

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 m² Blattfläche pro m² Bodenfläche angegeben (vgl. Roff 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 zwei Untersuchungsgebieten werden die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Werte für die Blattflächendichte zugrunde gelegt. Eine ausführliche Ableitung der Werte für Platanen und Linden kann der zuvor genannten Masterthesis (Strottkötter 2013) entnommen werden.

Tabelle 6: 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
Linde	1,4	0,4

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.

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

Tabelle 7: Kenndaten der DWD-Station Belm

Stationsname (Stationsnummer nach WMO)	Belm (00342)
Lage des Messortes (Gauß-Krüger-Koordinaten)	RW: 3 443 429 HW: 5 798 504
Rauigkeitslänge	0,2 m
Höhe des Stationsstandortes (NHN)	103 m
Anemometerhöhe	10 m
Räumliche Repräsentanz	überregional

Die Station Belm des DWD befindet sich außerhalb der Stadt Osnabrück nordöstlich der Gemeinde Belm in einem ländlichen, landwirtschaftlich genutzten Gelände. Der Stationsstandort ist von bewirtschafteten Feldern umgeben und durch eine eher geringe Rauigkeit gekennzeichnet. Das Gelände um den Stationsstandort ist weitestgehend eben. 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 Belm für das Jahr 2018 ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Station Belm ist seit Dezember 2010 in Betrieb und hat die Station des DWD im südlichen Stadtgebiet von Osnabrück im Stadtteil Schölerberg ersetzt, welche im November 2010 aufgegeben wurde. Die Windrichtungsverteilung für die Station Belm weist im

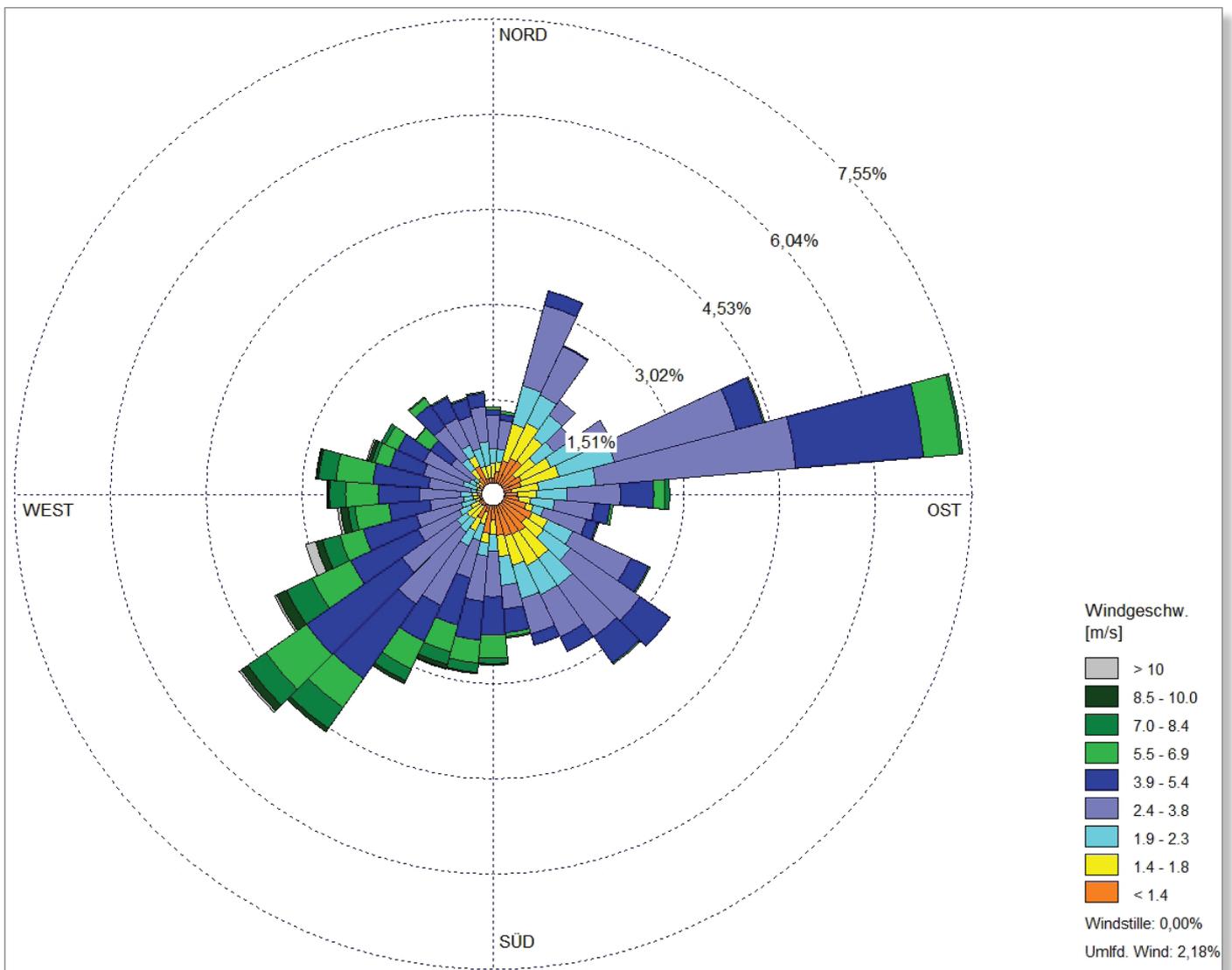


Abbildung 11: Windrichtungsverteilung der DWD Station Belm für das Jahr 2018

langjährigen Mittel (2011 - 2019) ein Maximum in Südwest aus. Die Windrichtungsverteilung für das Jahr 2018 weist ein Maximum in Ost und ein Nebenmaximum in Südwest aus, siehe Abbildung 11. Dies bestätigt eine Besonderheit in der Windrichtungsverteilung für das Jahr 2018 im norddeutschen Raum, welche eine Überbetonung von östlichen Windrichtungen im Vergleich zum langjährigen Mittel zeigt. Die Aufteilung mit einem Hauptmaximum in Südwest und einem Nebenmaximum in Ost entspricht der Ausprägung, die auch die Messungen am alten Messstandort im südlichen Stadtgebiet von Osnabrück gezeigt haben.

Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt in 2018 bei 3,0 m/s und entspricht damit gut dem langjährigen Mittel der Station, welches für den Zeitraum 2011 bis 2019 bei 3,1 m/s liegt.

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 in Belm liegt rund 9 km nordöstlich des Osnabrücker Stadtkerns. Der Stationsstandort liegt bezogen auf sein Umfeld frei und weist in einem Radius von 150 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 Messpunkt als hindernisfrei zu bezeichnen. Die Station repräsentiert die großräumige Windrichtungsverteilung für das Stadtgebiet Osnabrück 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 zwei Untersuchungsgebiete jeweils 1.000 m x 700 m in der Horizontalen und 500 m in der Vertikalen. Die Rechengebiete sind in Bezug auf die Hauptachse am Straßenverlauf der jeweiligen Straße (Schlosswall, Neuer Graben und Neumarkt) 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 Neuer Graben / Neumarkt auf und beträgt 45 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 Tabelle 8 dargestellt ist (vgl. Eichhorn 2011 S. 39).

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.

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

Tabelle 8:
Bodentypen und Rauigkeitslängen nach Eichhorn (2011)

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 beide 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 9 dargestellt.

Tabelle 9: 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 Turbulenz	Upstream 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 Strömungsrechnungen 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 verwendeten meteorologischen Zeitreihe 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 10 dargestellt.

Tabelle 10: 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 Ausbreitungsrechnung 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 11: Steuerparameter verkehrserzeugte Turbulenz

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

Entsprechend dieser Parameter erfolgt die Konzentrationskalibrierung 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 beiden Untersuchungsschwerpunkte in Osnabrück 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 12 zeigt beispielhaft die Zusammensetzung der NO_x - bzw. NO_2 -Immission innerhalb eines Stadtgebietes sowie eine Zuordnung zu den nachfolgend erläuterten Ermittlungswegen.

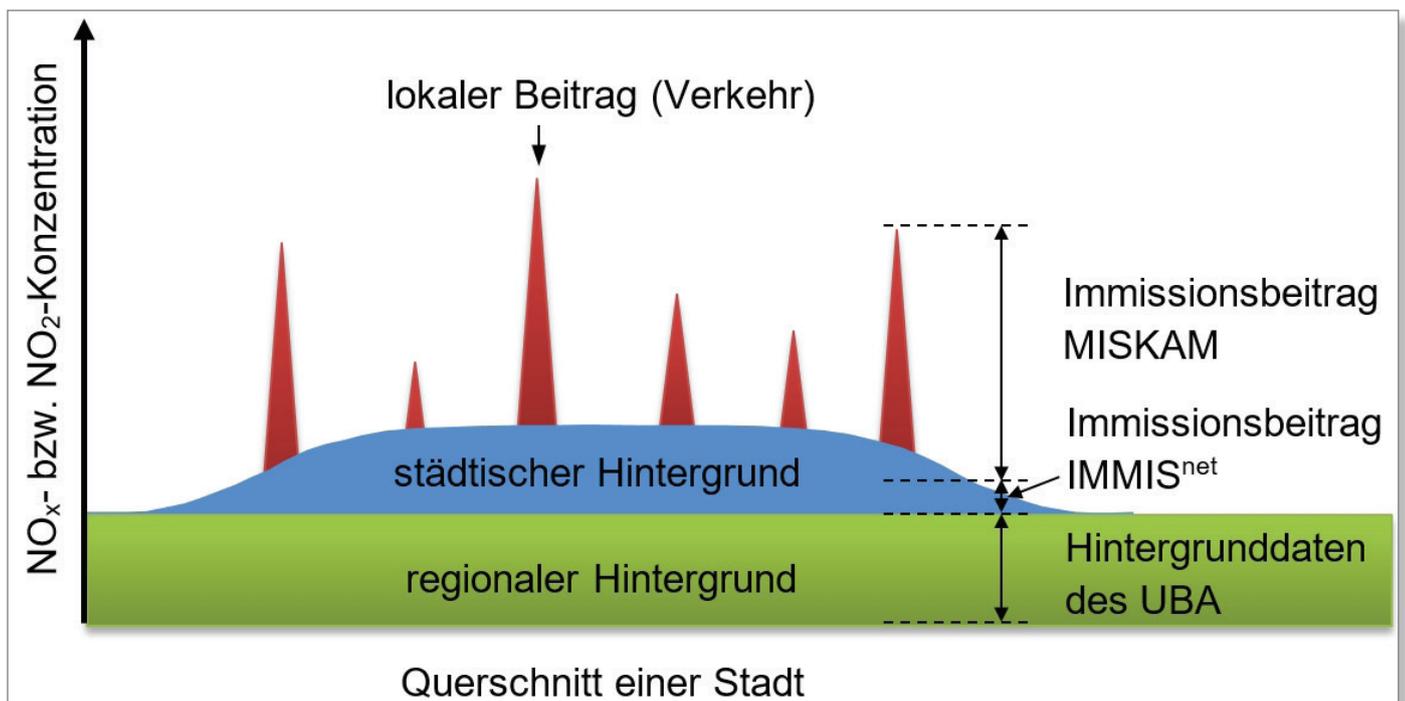


Abbildung 12: Zusammensetzung der NO_2 -Immission innerhalb eines Stadtgebietes (vgl. Lenschow et al. 2001, geändert)

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 NO₂-Immission (vgl. UBA 2020) aus dem Datensatz für das Jahr 2018 zurückgegriffen. Die Werte für die NO₂-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 NO₂ 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 NO₂-Konzentration von 15 µg/m³ und einer NO_x-Konzentration von 19 µg/m³ 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 Bebauung erfolgt über den Parameter der Rauigkeitslänge. Als meteorologische Datenbasis wurde die im Abschnitt Meteorologie dargestellte meteorologische Zeitreihe 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 dem Untersuchungsschwerpunkt Neuer Graben / Neumarkt wird vom LÜN mittels Passivsammlern die NO₂-Konzentration, im Schlosswall mittels eines automatisch arbeitenden Messgerätes die NO_x- und die NO₂-Konzentration gemessen. Rechtlich geregelt in Bezug auf den Schutz der menschlichen Gesundheit ist in der 39. BImSchV die Konzentration von NO₂. Der Vergleich der berechneten mit der gemessenen Gesamtbelastung erfolgt auf Basis der NO₂-Konzentration. Dazu ist eine Umrechnung der berechneten NO_x-Gesamtbelastung auf eine NO₂-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 NO₂ 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 innerhalb dieser Ansätze. Ein anderer Ansatz ist der von Düring et al. (2011), welcher ein vereinfachtes Chemiemodell auf Basis der Jahresmittelwerte der NO_x-, NO₂- und Ozon-Hintergrundbelastung aus Messungen der Luftqualitätsmessstationen der Bundesländer sowie der primären NO₂-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 NO₂-Gesamtbelastung auf Basis von Jahresmittelwerten im Straßenraum eingestuft wird (vgl. Neunhäuserer 2011 S. 31). Die zur Ermittlung der NO₂-Gesamtbelastung verwendeten Werte für die Hintergrundbelastung für NO_x, NO₂ und Ozon sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Datenbasis zur Ermittlung der Gesamtbelastung mittels des Chemiemodells nach Düring (2011)

Komponente	Schlosswall	Neuer Graben / Neumarkt
NO _x [µg/m ³]	28	29
NO ₂ [µg/m ³]	22	23
O ₃ [µg/m ³]	52	52

Die Ozon-Konzentration wird an den beiden Untersuchungsschwerpunkten nicht gemessen. An der LÜN-Station im städtischen Hintergrund, die in der Bomblatstraße im Stadtteil Schölerberg steht, wird Ozon gemessen. Der Jahresmittelwert für Ozon dieser Probenahmestelle aus 2018 ist in Tabelle 12 dargestellt und wird zur Ermittlung der Gesamtbelastung von NO₂ berücksichtigt.

5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten des LÜN

Im Rahmen des Vergleichs werden die für das Jahr 2018 berechneten Immissionsbeiträge der NO₂-Gesamtbelastung am Ort der Probenahmestelle dem jeweiligen Messwert der NO₂-Messung aus 2018 gegenübergestellt.

Für die zwei Untersuchungsschwerpunkte wurde die NO₂-Gesamtbelastung jeweils aus den beiden Berechnungsvarianten mit Vegetation im belaubten Zustand und mit Vegetation im unbelaubten Zustand gebildet. Der Zeit-

**Tabelle 13:** Berechnungs- und Messergebnisse für die zwei Osnabrücker Untersuchungsgebiete

Art des Immissionsbeitrags	Schlosswall	Neuer Graben / Neumarkt
Berechnete NO ₂ -Gesamtbelastung als gewichtetes Mittel der Berechnungsvarianten belaubt/unbelaubt in [µg/m ³]	39	46
Jahresmittelwert der NO ₂ -Messung des LÜN in 2018 in [µg/m ³]	41	50
Differenz zwischen Messwert und berechnetem Wert in [µg/m ³]	2	4
Auf den Grenzwert der 39. BImSchV bezogene Abweichung des Modellwertes vom Messwert in [%]	5	10

raum der Belaubung wird für die in den Untersuchungsgebieten dominanten Baumarten auf Basis der Arbeit von Lauscher mit sechs Monaten für die Platanen und sieben Monaten für die Linden 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 NO₂-Messungen an den Untersuchungsschwerpunkten sind in der Tabelle 13 dargestellt. Die Messwerte und Modellierungswerte sind dabei aufgrund der Unsicherheiten der Ermittlungsverfahren nicht mit Nachkommastelle angegeben. Der Wert für die berechnete NO₂-Gesamtbelastung beinhaltet die Beiträge des regionalen und städtischen Hintergrundes.

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

Für die Probenahmestellen Schlosswall und Neuer Graben/Neumarkt wird der Messwert durch den Modellwert jeweils unterschätzt. Für den Untersuchungsschwerpunkt Neuer Graben/Neumarkt kann die Unterschätzung in Teilen in der aufgrund der dortigen Bauarbeiten veränderlichen Verkehrssituation bzw. Verkehrsführung begründet sein. Diese kann im Nachhinein z. B. in Bezug auf die Lage der Fahrspuren nicht lückenlos nachvollzogen werden. Die Entfernung der Quelle (Fahrstreifen) zum interessierten Immissionsort, ist im Nahbereich der Fahrspuren von erheblicher Bedeutung, da hier der Gradient der Konzentrationsabnahme im Verhältnis zu größeren Entfernungen hoch ist. Für den Schlosswall liegt die Unterschätzung mit 2 µg NO₂/m³ innerhalb eines Bereiches, der vor dem Hintergrund der Unsicherheiten des Ermittlungsverfahrens als gute Übereinstimmung zu bewerten ist.

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 beide 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 repräsentativen Straßenabschnitt genutzt (siehe Abbildung 13 und Abbildung 17). 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 der Abbildung 14 und Abbildung 18 dargestellten Vertikalschnitte sind quer zur Fahrbahn mit einer vertikalen Ausdehnung vom Erdboden bis zur Gebäudeoberkante 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 15, 16, 19 und 20 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 9,5 m.

Für die Vertikalschnitte wird jeweils beispielhaft die Konzentrationsverteilung für die Berechnungsvariante mit Vegetation im belaubten 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 Aussa-

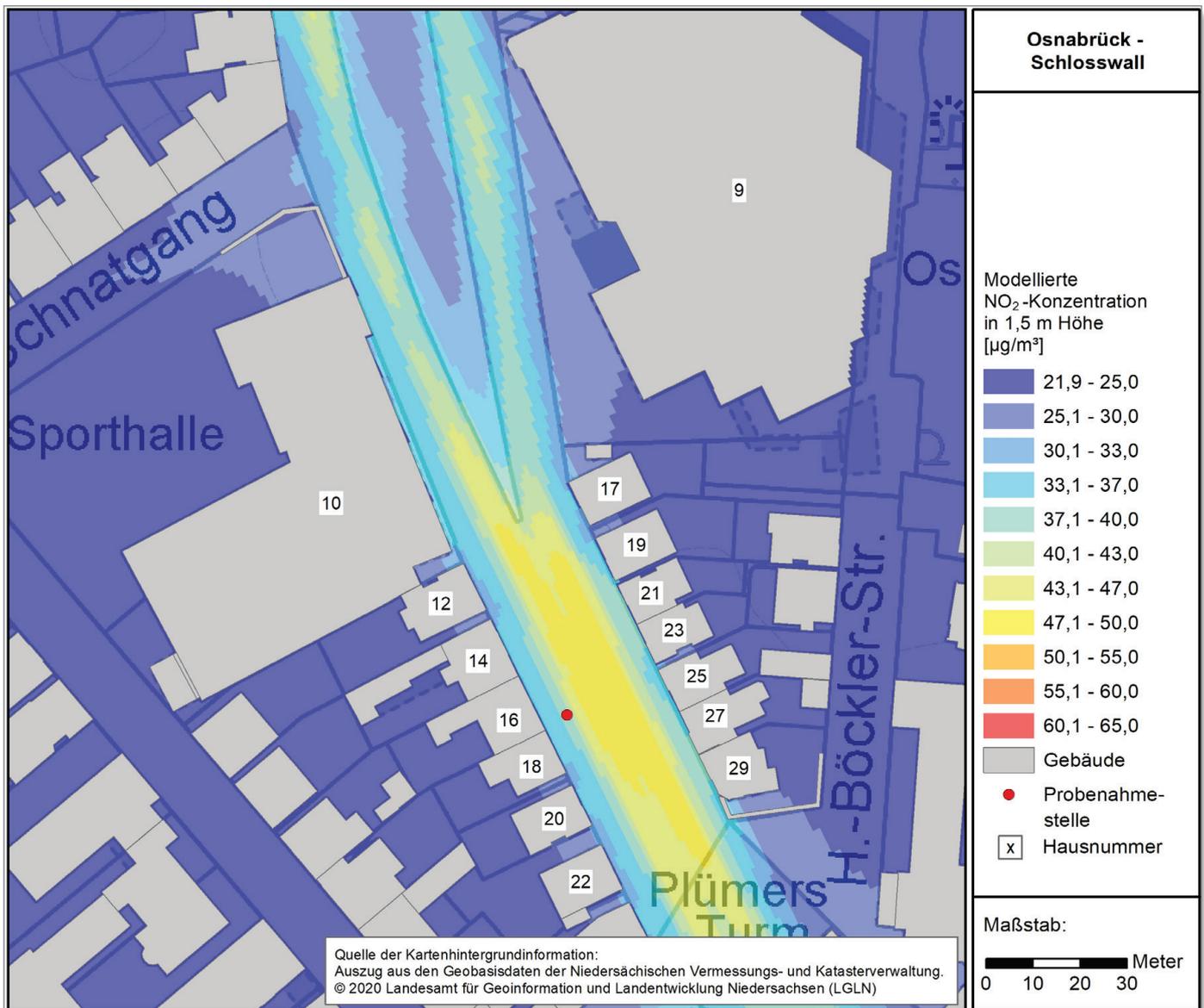


Abbildung 13: NO₂-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt des Schlosswalls in Höhe von 1,5 m (Messhöhe: 1,6 m)

gekraft der gebäudenahen Zellen zu beachten (siehe Abschnitt Anwendungsgrenzen).

5.3.1 Konzentrationsverteilung im Schlosswall

Die Abbildung 13 zeigt die Konzentrationsverteilung in der Horizontalen in 1,5 m Höhe, die Messhöhe beträgt 1,6 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 Fahrbahn zur Wohnbebauung ist im südlichen Teil des zu untersuchen-

den Abschnitts des Schlosswalls auf beiden Fahrbahnseiten mit 6 - 7 m vergleichbar. Im nördlichen Teil des Untersuchungsbereichs, nimmt der Abstand auf der östlichen Seite im Bereich der Stadthalle erheblich zu, er beträgt hier stellenweise bis zu 20 m. auf der westlichen Seite ist er hier vergleichbar zu dem im Bereich der südlich angrenzenden Wohnbebauung. Die höchsten NO₂-Konzentrationen treten in dem südlichen Bereich der Straße auf, in der die Straßenschlucht schmaler ist und dementsprechend die Durchmischung schlechter ist als im nördlichen Bereich des Untersuchungsabschnittes.

Im südlichen Teil des Untersuchungsabschnittes grenzen die Gebäude zum Teil nicht direkt aneinander, so dass die Straßenschlucht hier seitlich nicht vollständig geschlossen ist. In der Abbildung 13 ist der Einfluss der dadurch möglichen



Querlüftungen gut erkennbar, hier zeigen sich gebäudenah geringere Konzentrationen als im durchgängig bebauten Bereich.

Bei der Interpretation der Konzentrationsdarstellung ist zu beachten, dass für eine Auswertung bezogen auf die Bebauungslinie, die den Gebäuden nächstgelegenen zwei Gitterreihen der Berechnung nicht verwendet werden können (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen). Auskunft über die Verteilung der NO₂-Konzentration in der Vertikalen innerhalb des Straßenraums des Schlosswalls geben die Abbildungen 14, 15 und 16.

Die Abbildung 14 zeigt einen Vertikalschnitt quer zur Fahrbahn im Schlosswall. 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 NO₂-Konzentration boden- und quellenah am größten ist. Mit steigender Entfernung von der Fahrbahn nimmt die Konzentration in der Horizontalen und der Vertikalen ab. Dies ist plausibel, da es sich beim Kraftfahrzeugverkehr um Quellen handelt, die bodennah emittieren. In diesem Bereich des Straßenraums liegen die NO₂-Konzentrationen vor der westlichen und östlichen Bebauung auf vergleichbarem Niveau. Bezogen auf die gesamte Länge des untersuchten Straßenabschnittes mit Wohnbebauung finden sich die höchsten Konzentrationen auf der östlichen Bebauungsseite, siehe Abbildung 13. Das vergleichbare Konzentrationsniveau vor der Bebauung in der Schnittdarstellung ist in der Lage des Schnittes begründet. Der Schnitt verläuft am nördlichen Ende des Gebäudes Schlosswall 25. Vor dem Gebäude auf der östlichen Seite ist die NO₂-Konzentration durch die Querlüftung zwischen den Gebäuden Schlosswall 23 und 25 beeinflusst.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 15 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade auf der östlichen Straßenseite. Der Schnitt deckt dabei ausschließlich den Bereich mit Wohngebäuden (Schlosswall 17 bis 29) ab, da für den Bereich der Stadthalle aufgrund der zur Straße versetzten Gebäudefront (siehe Abbildung 13) keine Schnittdarstellung möglich ist. 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 NO₂-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 13 erkennbar, dass die Ausprägung und Lage der Konzentrationsmaxima durch die Länge der geschlossenen Gebäudefronten beeinflusst sind.

Der dritte Vertikalschnitt in Abbildung 16 zeigt die Verteilung der NO₂-Konzentration vor der westlichen Gebäudereihe im Bereich der Wohnnutzung zwischen den Gebäuden im Schlosswall 12 und 22. Es zeigt sich ein insgesamt etwas niedrigeres Konzentrationsniveau als auf der östlichen Seite. Aber auch hier sind die zuvor beschriebenen Effekte (z. B. Querlüftung durch Lücken zwischen Gebäuden) auf die Konzentrationsverteilung in der Vertikalen erkennbar.

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

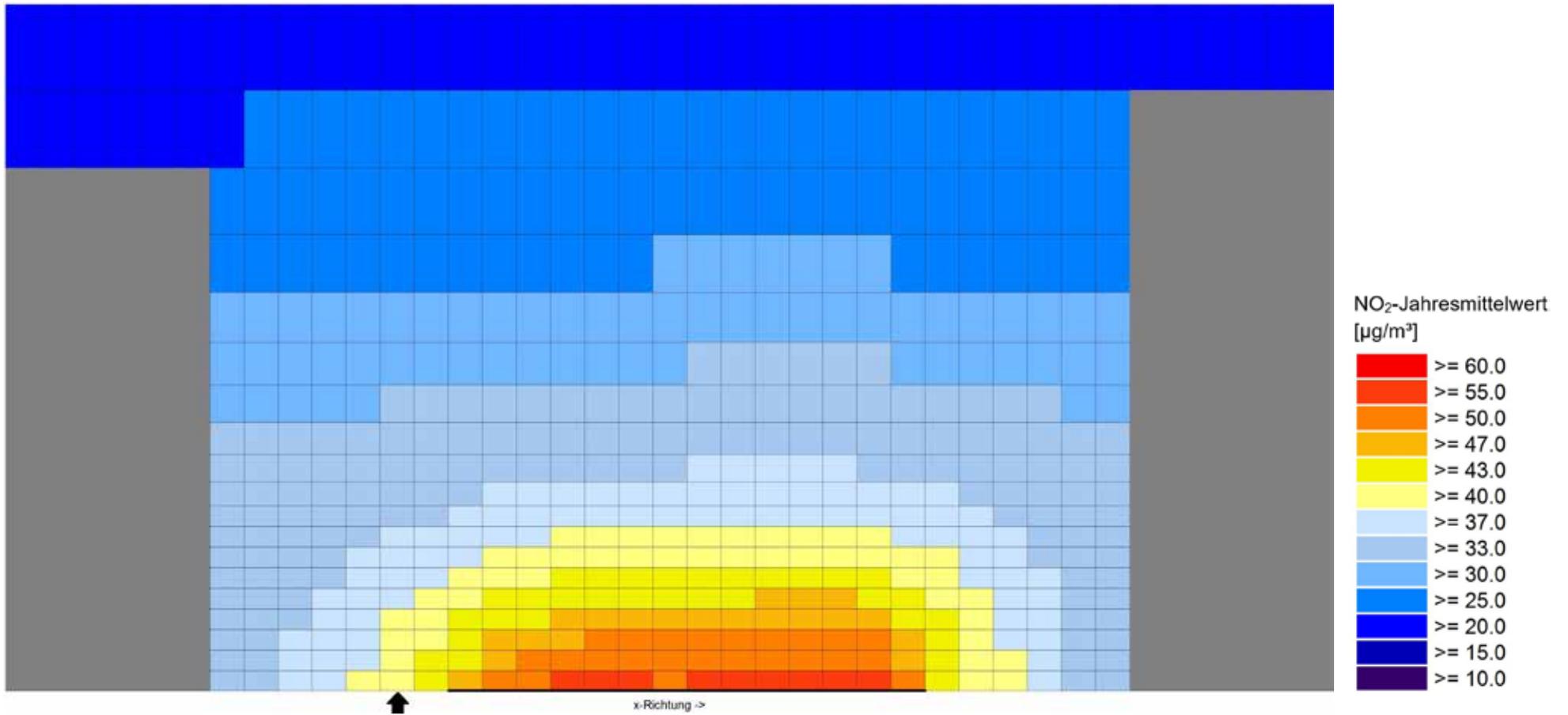


Abbildung 14: NO₂-Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt des Schlosswalls im Bereich der NO₂-Messung über eine Höhe von 0 bis 20 m (Darstellung Blickrichtung Nord)

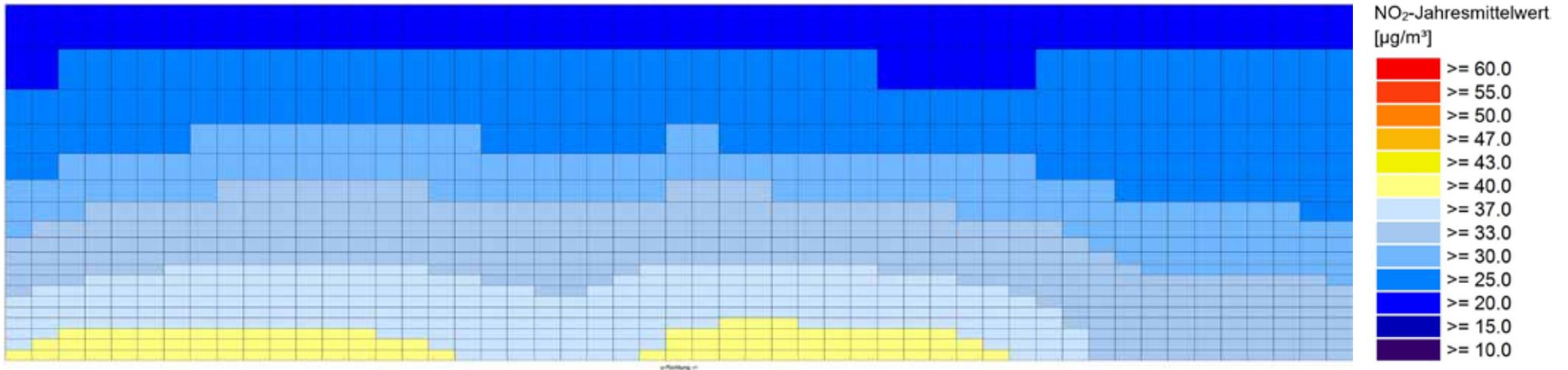


Abbildung 15: NO₂-Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbegleitenden Bebauung auf der östlichen Seite im Bereich Schlosswall 17 (rechts) bis 29 (links) über eine Höhe von 0 bis 20 m

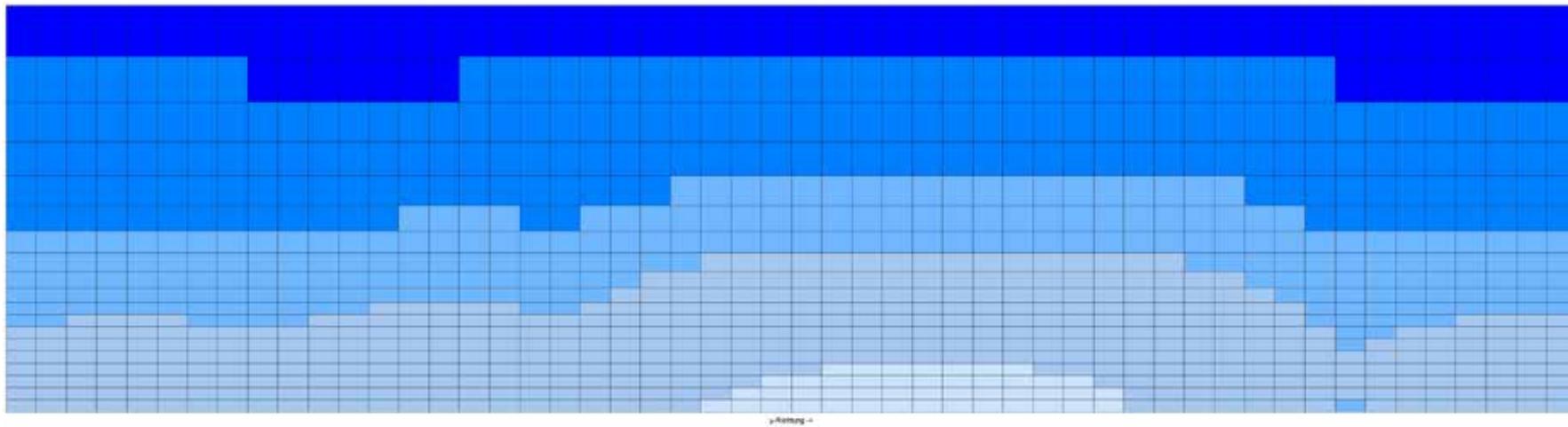


Abbildung 16: NO₂-Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbegleitenden Bebauung auf der westlichen Seite im Adressbereich Schlosswall 12 bis 22 (siehe Abbildung 5) über eine Höhe von 0 bis 20 m (Legende: siehe Abbildung 15)

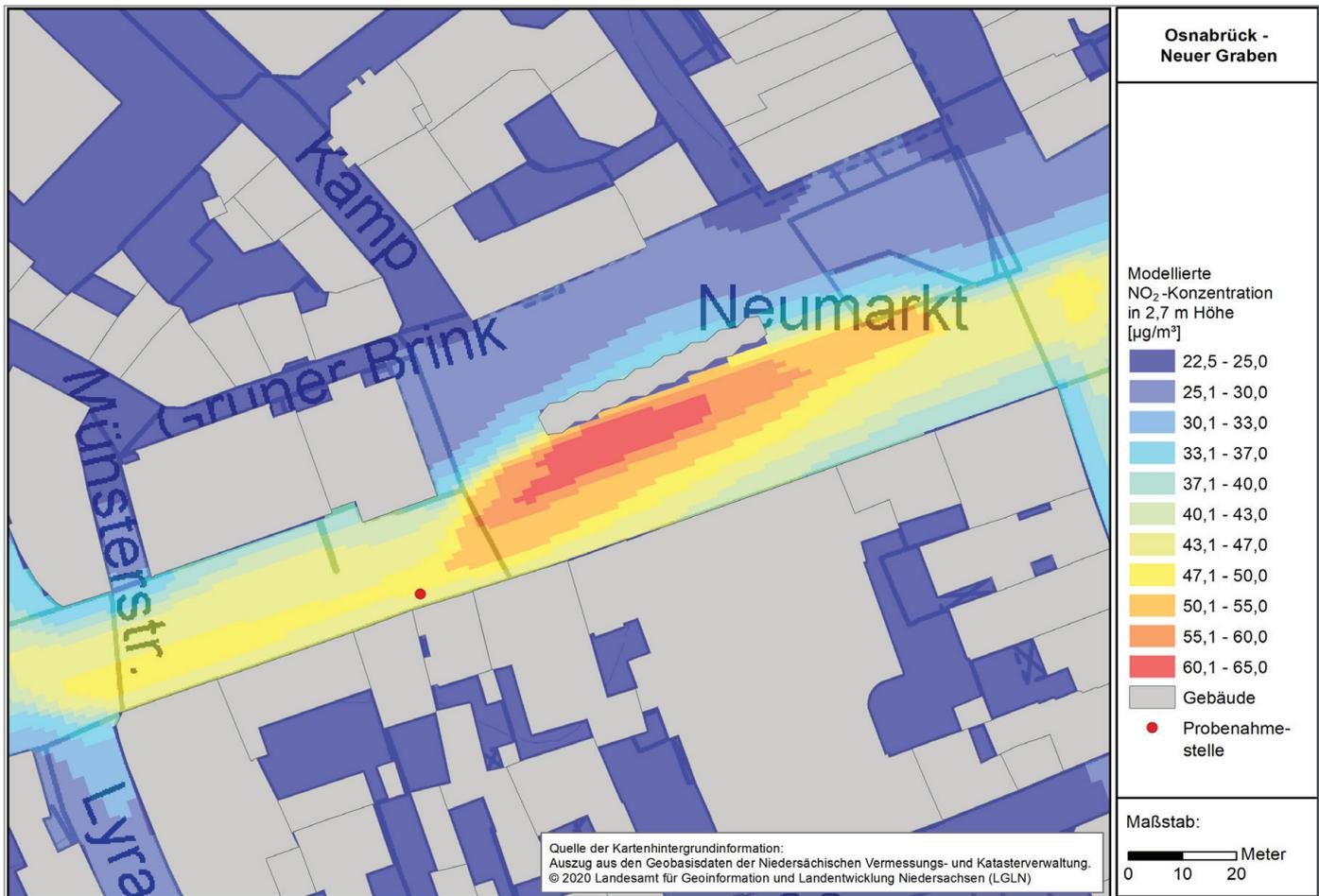


Abbildung 17: NO₂-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Abschnitt der Straßen Neuer Graben und Neumarkt in Höhe der Messung (2,7 m)

5.3.2 Konzentrationsverteilung im Bereich Neuer Graben/Neumarkt

Die Abbildung 17 zeigt die horizontale Konzentrationsverteilung in den Straßen Neuer Graben und Neumarkt in der Messhöhe des Passivsammlers von 2,7 m.

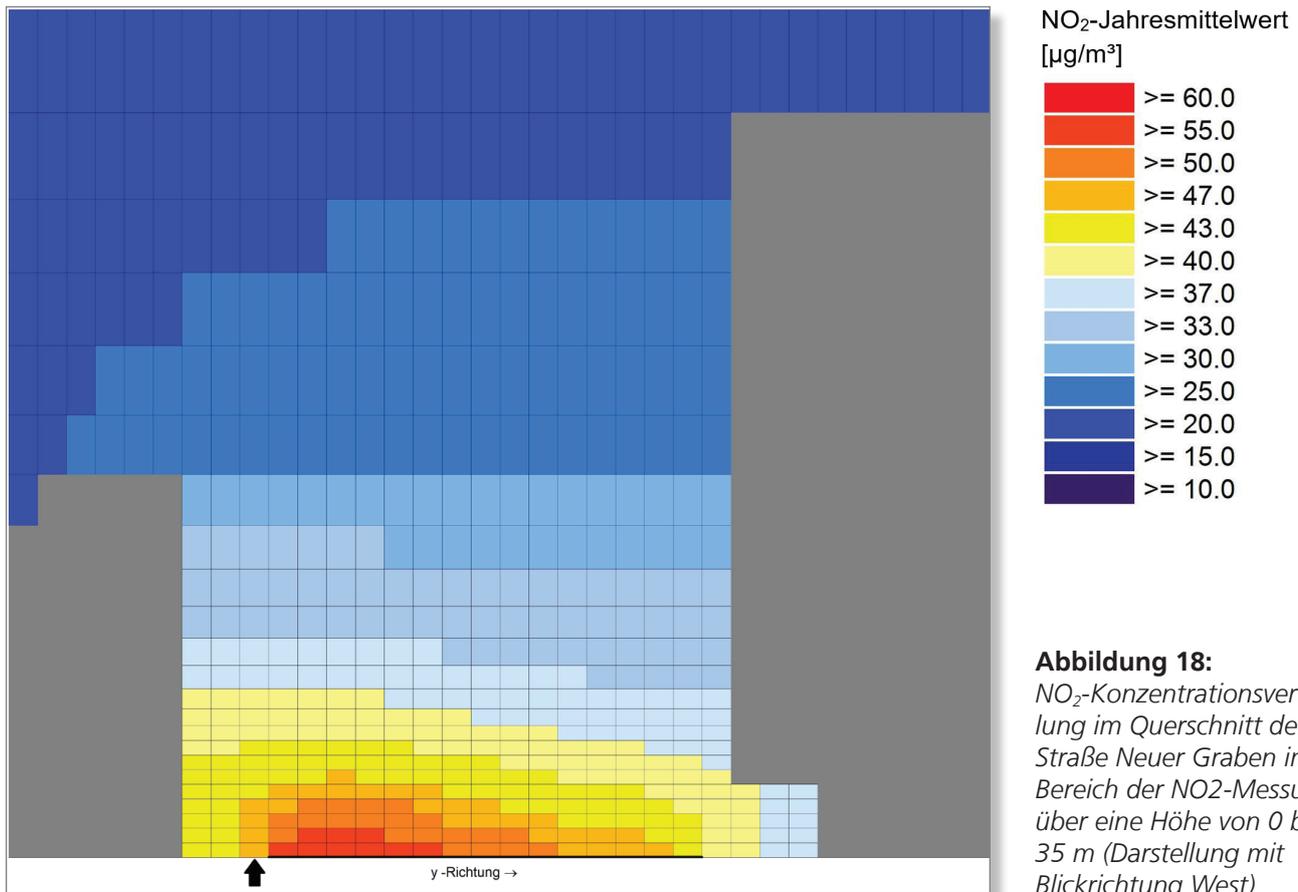
Der Horizontalschnitt in Abbildung 17 zeigt, dass die höchsten Konzentrationen im Fahrbahnbereich und hier schwerpunktmäßig im Bereich des Haltestellenbereichs am Neumarkt auftreten. Die NO₂-Konzentration verändert sich mit dem Straßenverlauf. Die Unterschiede sind zum einen im komplexen Strömungsfeld mit der schmalen Straßenschlucht im Bereich Neuer Graben und der Öffnung der Straße zu einem größeren Platz mit mehreren Einmündungen (z. B. Grüner Brink und Kamp) im Bereich Neumarkt begründet. Die straßenbegleitenden Gebäude weisen hier Höhen zwischen 10 und 30 m auf, ihr Abstand zur Fahrbahn variiert im Bereich des Neumarkts stark. Zum anderen ist aber auch ein Einfluss der Emissionsverteilung erkennbar, die jeweils rechte Fahrspur ist in diesen Bereichen die Busspur. Der Busverkehr besitzt in diesen Straßen einen Anteil

von mehr als 60 % an der gesamten NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs.

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 im Bereich Neuer Graben/Neumarkt zeigen die Abbildungen 18, 19 und 20.

Die Abbildung 18 zeigt einen Vertikalschnitt quer zur Fahrbahn in der Straße Neuer Graben. In diesem Vertikalschnitt sind die Zellen, die Gebäude enthalten grau eingefärbt. Gut erkennbar ist hier der Arkadenbereich auf der nördlichen Straßenseite (in der Abbildung rechts). Der Bereich der Fahrbahn ist durch eine schwarze Linie und die Lage der Messung des LÜN mit einem schwarzen Pfeil gekenn-



zeichnet. 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. Dabei unterscheidet sich die NO₂-Konzentration vor den Gebäuden auf der nördlichen Straßenseite (in Abbildung rechts) von der auf der südlichen Straßenseite. Im Bereich der Arkaden ist die NO₂-Konzentration geringer als vor den geschlossenen Gebäuden auf der südlichen Straßenseite. Bezogen auf die gesamte Länge des untersuchten Straßenabschnitts finden sich die höchsten NO₂-Konzentrationen vor der Bebauung auf der südlichen Straßenseite, siehe Abbildung 17.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 19 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade auf der südlichen Straßenseite. Dargestellt ist zumeist die den Gebäuden drittnächst gelegene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist.

In den für die Bebauung relevanten Bereichen treten die höchsten NO₂-Konzentrationen bodennah auf. Mit steigen-

der Höhe nehmen die Konzentrationsdifferenzen zwischen den einzelnen Höhenschichten ab. Die gebäudenahe Konzentrationsverteilung zeigt die höchsten NO₂-Konzentrationen im Bereich der im Vergleich zum Neumarkt engeren Straßenschlucht der Straße Neuer Graben, in der Abbildung links und im Übergangsbereich zum Neumarkt, siehe auch Abbildung 17. Weiter nach Osten hin im Bereich des Neumarkts, verringert sich die gebäudenahe NO₂-Konzentration aufgrund des größeren Abstandes der Fahrbahn zu den Gebäuden und der deutlich breiteren Straßenschlucht im Bereich des Neumarktes.

Der dritte Vertikalschnitt in Abbildung 20 zeigt die Konzentrationsverteilung auf der nördlichen Straßenseite zwischen der Straße Alte Münze und dem Neumarkt. Eine sinnvolle Schnittdarstellung für die Gebäude im Bereich des Neumarktes ist aufgrund des nicht ausreichend parallelen Verlaufs der Bebauung zum Berechnungsgitter nicht möglich. Aufgrund der deutlich größeren Entfernung der nördlichen Bebauung des Neumarkts zur Fahrbahn ist für diese Gebäude aber auch von einer deutlich geringeren NO₂-Konzentration auszugehen, siehe Abbildung 17. Die gebäudenahe Konzentrationsverteilung im Bereich Neuer Graben ist beeinflusst durch die Einmündung der Münsterstraße (Pfeilmarkierung), das vorspringende Gebäude (graue Zellen) mit den Arkaden im östlichen Teil der Straße sowie durch die Öffnung der Straße am östlichen Ende hin zum Neu-

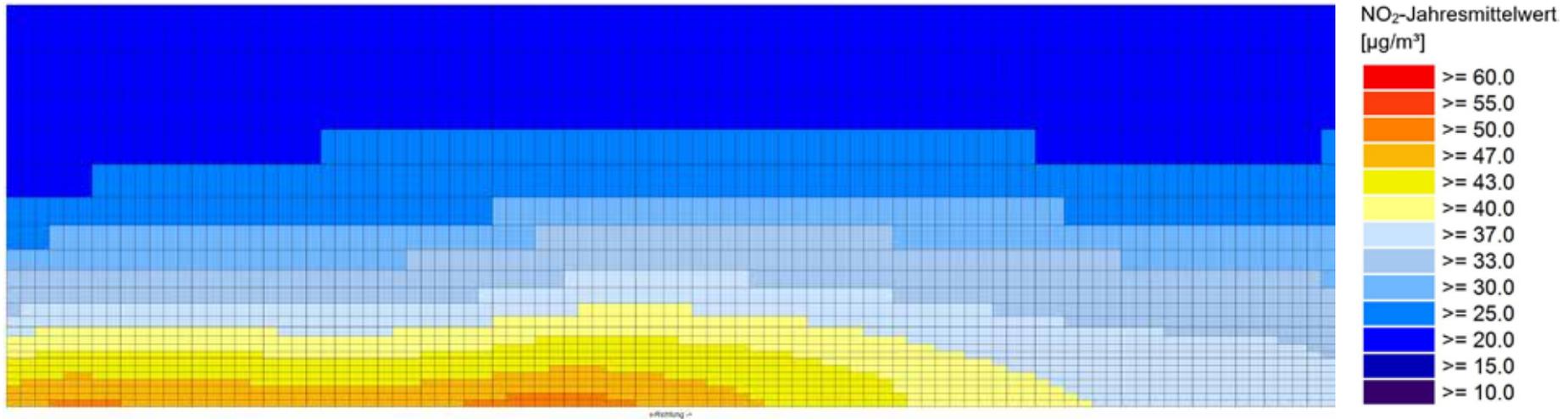


Abbildung 19: NO₂-Konzentrationsverteilung parallel zur südlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Lyrastraße (links) und Johannisstraße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 35 m

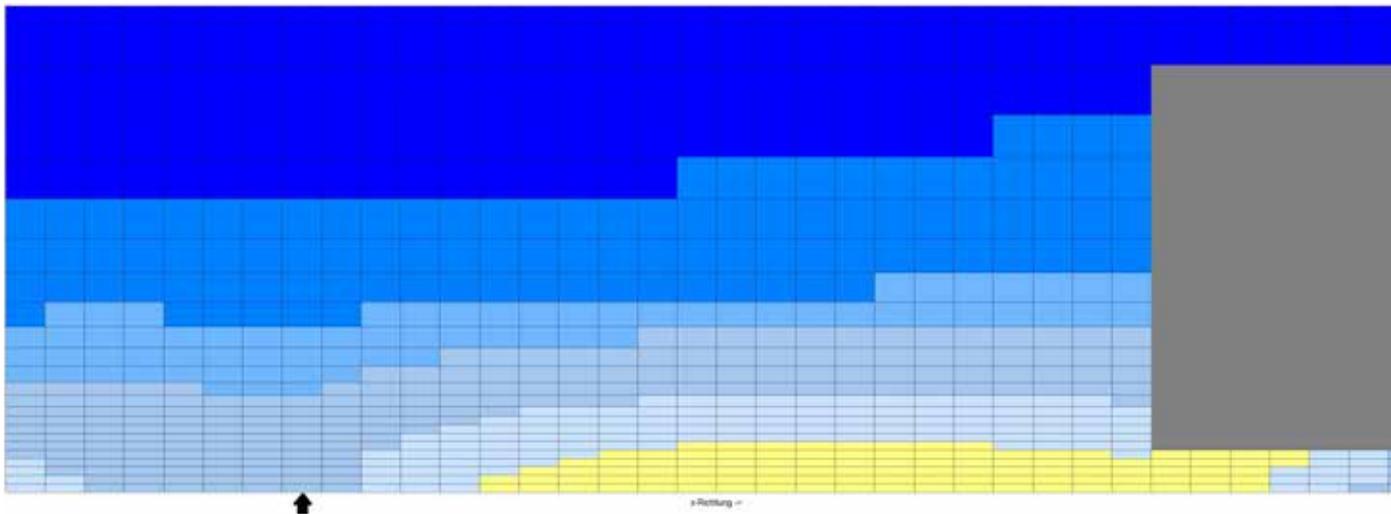


Abbildung 20: NO₂-Konzentrationsverteilung parallel zur nördlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Alte Münze (links) und Neumarkt (rechts) über eine Höhe von 0 bis 35 m (Legende: Siehe Abbildung 19)



markt. Zur Münsterstraße und zum Neumarkt hin ist eine Absenkung der gebäudenahen NO_2 -Konzentration zu sehen. Zwischen diesen Bereichen nimmt die Konzentration zu, so dass hier auf der nördlichen Straßenseite die höchste Belastung zu finden ist.

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

5.4 Quantitative Darstellung der Konzentrationsverteilung im Bereich der Gebäude

Für die Ermittlung des Jahresmittelwertes der NO_2 -Konzentration eines Straßenabschnitts ist die dortige Wohnbebauungsfront maßgeblich. Bei der Wohnbevölkerung kann, wie rechtlich vorgeschrieben, von einer im Vergleich zum Mitteilungszeitraum des NO_2 -Jahresgrenzwertes signifikanten Aufenthaltsdauer ausgegangen werden. Für den Jahresmittelwert der NO_2 -Konzentration vor den Wohngebäuden sind in Anlehnung an die Vorschriften zur Ortsbestimmung von Probenahmestellen die ersten beiden Etagen beidseitig der Straße heranzuziehen.

Einem konservativen Ansatz folgend wird für jede Straßenseite die NO_2 -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 am höchsten 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 im Mittel 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 zwei 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 NO_2 -Konzentrationen und zeigen jeweils zwei Konzentrationsbereiche, einen mit NO_2 -Konzentrationen von bis zu

40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (blaue Zellen) und einen mit NO_2 -Konzentrationen von mehr als 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gelbe Zellen). Diese Form der Darstellung bezieht sich dabei jeweils auf den Messwert für NO_2 (siehe Tabelle 13) 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 den Straßen Schlosswall, Neuer Graben und Neumarkt 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 berechneten Konzentrationsverteilungen im jeweiligen Straßenverlauf entsprechend verändern.

5.4.1 NO_2 -Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung im Schlosswall

Im Schlosswall 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 NO_2 -Konzentration in 1,5 m Höhe dargestellt und für die östliche Bebauungsseite quantifiziert, da hier die höchsten NO_2 -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. Gebäude mit Wohnnutzung im Erdgeschoss sind mit einer Schraffur gekennzeichnet.

Die Auswertung für die Höhenschicht von 1,5 m zeigt auf beiden Straßenseiten für die in der Auswertung berücksichtigten Zellen in der drittletzten Gitterreihe vor den Gebäuden (mittlerer Abstand zur Fassade 2,5 m) keine NO_2 -Konzentrationen oberhalb von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (blaue Zellen). Die höchsten NO_2 -Konzentrationen treten mit 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im mittleren Bereich der Wohnbebauungsreihe auf der östlichen Seite auf. Zu den Enden der Bebauungsreihen und in den Bereichen, in denen die Gebäude nicht direkt anein-

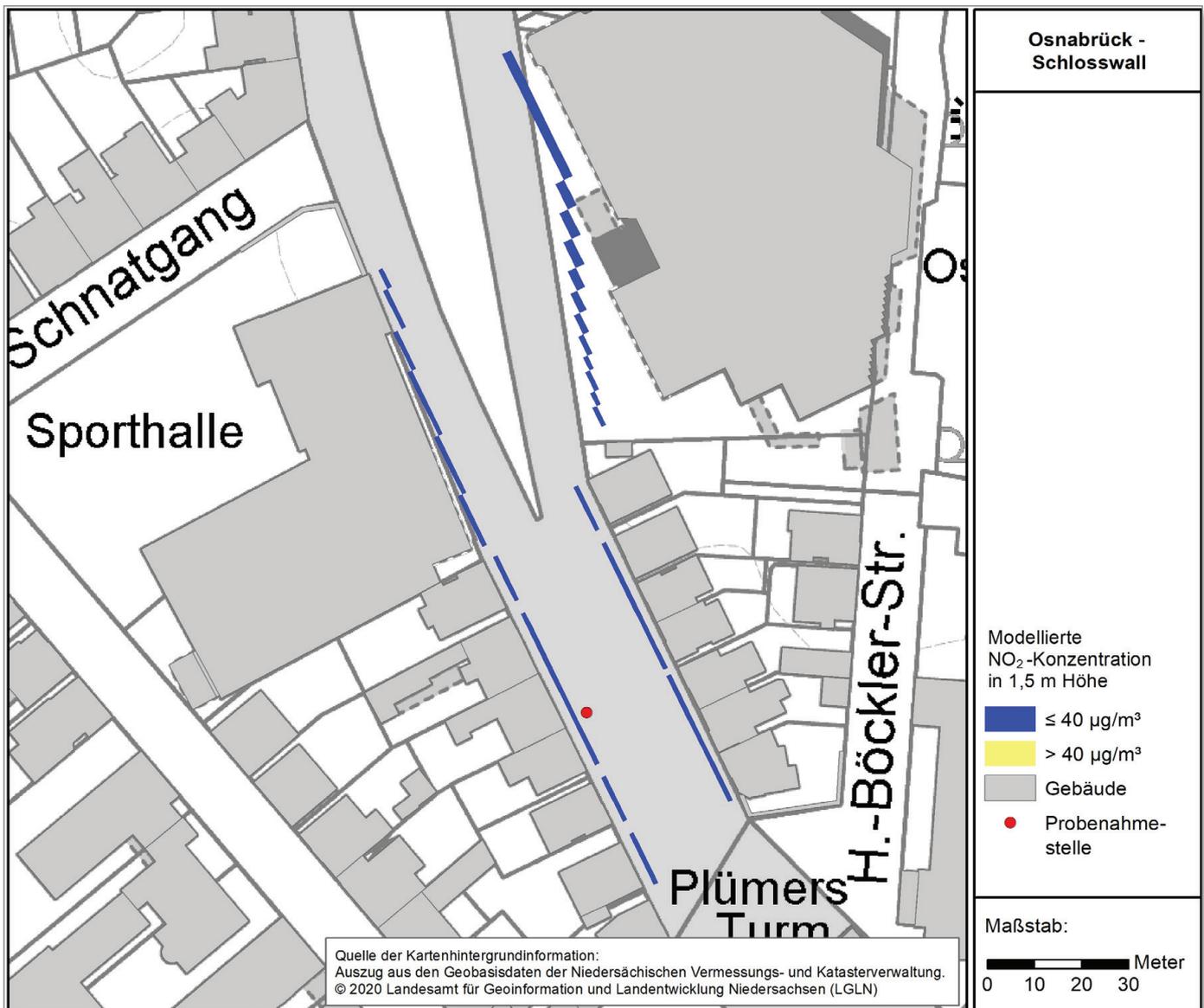


Abbildung 21: NO₂-Konzentration im Schlosswall in 1,5 m Höhe im Abstand von 2,5 m zu den Gebäuden

andergrenzen, nehmen die Konzentrationen aufgrund der besseren Durchmischung jeweils ab.

Die Tabelle 14 gibt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten Gitterreihe für den Bereich der Gebäude mit Wohnnutzung an.

5.4.2 NO₂-Konzentrationsverhältnisse an der Bebauung in den Straßen Neuer Graben und Neumarkt

In den Straßen Neuer Graben und Neumarkt liegt Wohnnutzung nur im ersten Obergeschoss in der Straße Neuer Graben 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 südlichen Straßenseite auftreten. Für

Tabelle 14: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der östlichen höher belasteten Seite des Schlosswalls

Kenngröße	NO ₂ -Konzentration [µg/m ³]
Mittlere Jahresbelastung	39
Maximalwert	40 *)
Minimalwert	36 **)

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

***) Der Minimalwert für beide Seiten des Straßenabschnitts liegt bei 35 µg/m³.

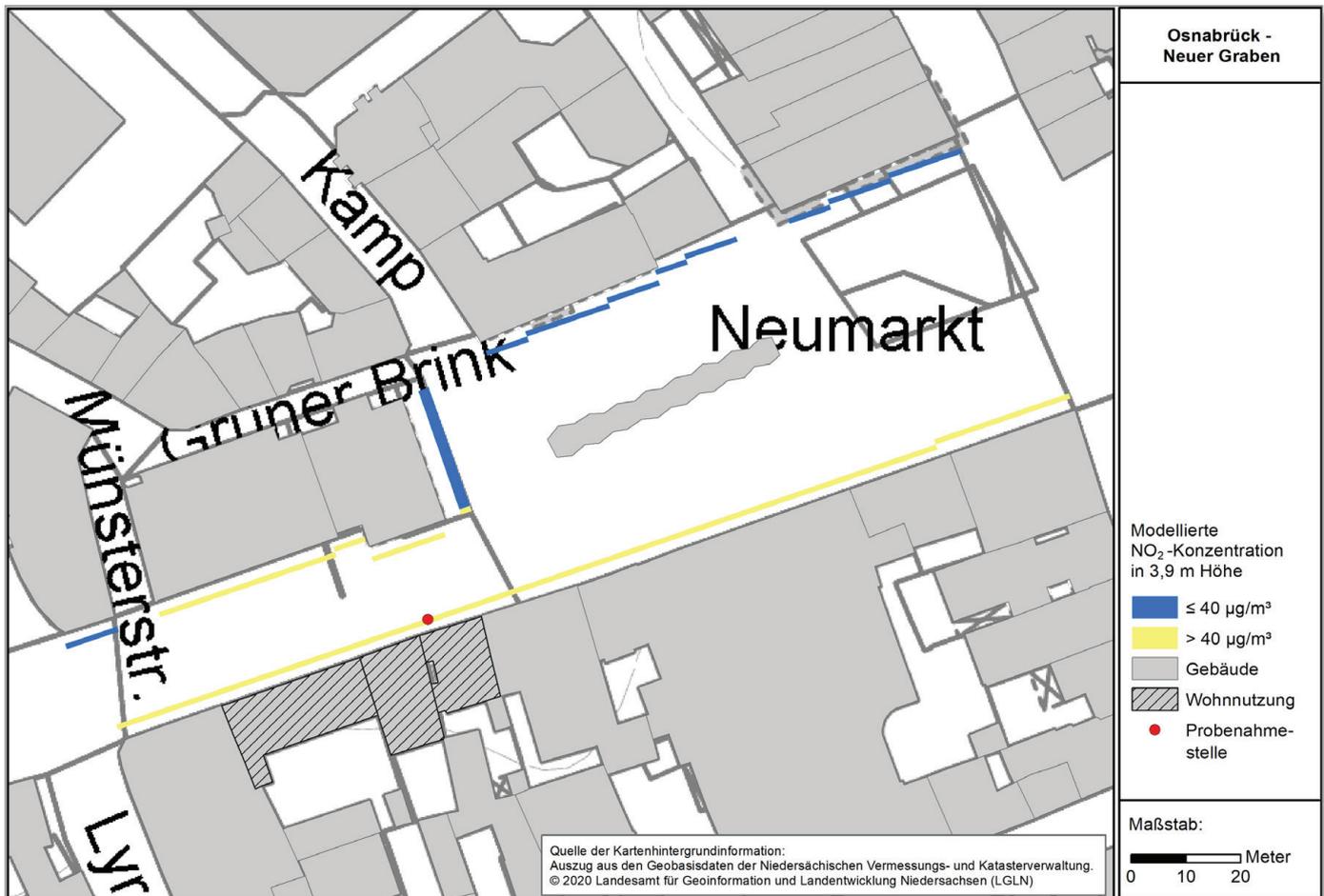


Abbildung 22: NO₂-Konzentration im Bereich Neuer Graben und Neumarkt in 3,9 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zu den Gebäuden

die Verteilung in der Vertikalen zeigt sich der typische Verlauf mit den höchsten Konzentrationen bodennah. Da jedoch im Erdgeschoss keine Wohnnutzung erfolgt und dort daher eine geringere Aufenthaltsdauer der Bevölkerung vorliegt, wird zur Auswertung für die NO₂-Konzentration die Höhe von 3,9 m berücksichtigt.

Die Abbildung 22 zeigt den Horizontalschnitt für die Höhe von 3,9 m vor den Bebauungsreihen. Die räumliche Auflösung der Gitterzellen beträgt in der Horizontalen 2 m x 1 m. Gebäude mit Wohnnutzung im ersten Obergeschoss sind mit einer Schraffur gekennzeichnet.

Die Auswertung für die Höhenschicht von 3,9 m auf der höher belasteten südlichen Straßenseite zeigt für 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).

Die Konzentrationsspanne ist für den ausgewiesenen Bereich der südlichen ca. 180 m langen Straßenseite mit 8 µg NO₂/m³ verhältnismäßig gering, was im Wesentlichen

durch die geschlossene Bebauung auf dieser Seite zurückzuführen ist. Bezogen auf den ca. 50 m langen Teilbereich mit Gebäuden die auch zum Wohnen genutzt werden (siehe Abschnitt 3.2.3), ist die Konzentrationsdifferenz noch geringer (siehe Tabelle 15).

Auf der nördlichen Seite, auf der keine Wohnnutzung erfolgt, treten nur in der Straße Neuer Graben zwischen Münsterstraße und Neumarkt NO₂-Konzentrationen oberhalb von 40 µg/m³ auf. In den besser belüfteten Randbereichen des betrachteten Straßenabschnitts und im Bereich des Neumarktes, in dem die Gebäude deutlich weiter von der Fahrbahn entfernt sind und zu dem die Gebäudereihen durch einmündende Straßen unterbrochen werden, zeigen sich ausnahmslos Werte unterhalb von 40 µg/m³.

Die Tabelle 15 gibt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten Gitterreihe für den Bereich der Gebäude mit Wohnnutzung an. Die Tabelle beinhaltet ausschließlich Angaben für die südliche Seite des Straßenabschnittes, da nur auf dieser Seite Wohnnutzung stattfindet.

Tabelle 15: *Kenngößen der Konzentrationsverteilung in 3,9 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der südlichen Seite der Straße Neuer Graben*

KenngroÙe	NO₂-Konzentration [µg/m³]
Mittlere Jahresbelastung	48
Maximalwert	49
Minimalwert	48



6. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Untersuchung der Stickstoffdioxidkonzentration im Umfeld der verkehrsnahen Probenahmestellen des LÜN im Schlosswall und den Straßen Neuer Graben und Neumarkt in Osnabrück wurden mit dem prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM Berechnungen durchgeführt.

Die Berechnungen geben Aufschluss über die horizontale und vertikale Konzentrationsverteilung für NO₂ 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 und die Höhe der Gebäude sowie Unterbrechungen des Gebäuderiegels durch Straßen von Bedeutung. Diese Einflussgrößen wirken relevant auf die Strömungssituation und dementsprechend auch auf die Konzentrationsverteilung ein. Der Einfluss der Emission des Straßenverkehrs auf die Konzentrationsverteilung im Verlauf der untersuchten Straßenabschnitte ist in dieser Untersuchung nur von eingeschränkter Relevanz. Für die untersuchten Straßenabschnitte wurden jeweils homogene Emissionsverhältnisse zugrunde gelegt, 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 es zu erwarten, dass sich die Konzentrationsverteilungen entlang der Straße verändern.

Für die Ermittlung der NO₂-Konzentration an der Bebauungslinie wurden daher in Abhängigkeit von der Wohnnutzungssituation der Gebäude im Erd- und ersten Obergeschoss die Höhenschicht von 1,5 m (Schlosswall) und 3,9 m (Neuer Graben/Neumarkt) für die jeweils höchstbelastete Straßenseite mit Wohnnutzung ausgewertet. Dabei wurde im Wesentlichen auf die der Bebauung dritt-nächstgelegene 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 eine

gute Übereinstimmung. Die Abweichung zwischen den gemessenen und berechneten NO₂-Jahresmittelwerten liegt bei 2 und 4 µg/m³. Das Datenqualitätsziel für die Unsicherheit der Modellrechnung aus Anlage 1 der 39. BImSchV von 30 % wird für beide Einzelwerte sicher eingehalten (siehe Tabelle 13).

Eine Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse und der Messergebnisse des LÜN für die untersuchten Straßenabschnitte zeigt die nachfolgende Tabelle. Die Berechnungsergebnisse zu den höchstbelasteten Wohntagen sind, wie in Abschnitt 5.4 beschrieben, jeweils auf den NO₂-Messwert der jeweiligen Probenahmestelle aus dem Jahr 2018 bezogen. Durch dieses Vorgehen wird die Unterschätzung durch die Modellrechnung von 2 bzw. 4 µg/m³ kompensiert.

Tabelle 16: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse der MISKAM-Berechnungen und der Messungen des LÜN für das Bezugsjahr 2018

Immissionskenngröße	Schlosswall	Neuer Graben / Neumarkt ¹⁾
Jahresmittelwert der NO ₂ -Messung in 2018 [µg/m ³]	41	50
Berechneter NO ₂ -Jahresmittelwert am Messpunkt [µg/m ³]	39	46
Berechnete mittlere NO ₂ -Jahresbelastung der höchstbelasteten Wohntagen des untersuchten Straßenabschnitts [µg/m ³]	39	48
Berechnetes NO ₂ -Jahresmaximum in Höhe der höchstbelasteten Wohntage (auf beiden Seiten) des Straßenabschnitts [µg/m ³]	40	49
Berechnetes NO ₂ -Jahresminimum in Höhe der höchstbelasteten Wohntage (auf beiden Seiten) des Straßenabschnitts [µg/m ³]	35	48

¹⁾ Nur südliche Seite mit Wohnnutzung.

Die Berechnungsergebnisse für die NO₂-Konzentration vor der Bebauung zeigen mittlere Jahresbelastungen, die sowohl knapp unterhalb (Schlosswall) aber auch deutlich oberhalb (Neuer Graben / Neumarkt) des Grenzwertes von 40 µg/m³ liegen. Im Vergleich zu den Messwerten werden für die beiden betrachteten Straßenabschnitte niedrigere mittlere Jahresbelastungen vor den jeweils höchstbelasteten Wohntagen berechnet; die Differenz liegt jeweils bei 2 µg/m³. Die berechneten Maximalwerte vor den jeweils höchstbelasteten Wohntagen liegen mit einer Differenz von 1 µg/m³ im Bereich der Messwerte.

Die Konzentrationsspannen vor der Bebauung mit Wohnnutzung sind im Wesentlichen klein. Im Schlosswall, in dem sich die Wohnnutzung im untersuchten Straßenabschnitt über eine Länge von 80 m erstreckt, beträgt sie $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im untersuchten Bereich Neuer Graben / Neumarkt, in dem sich Wohnnutzung nur in einem ca. 50 m langen Abschnitt befindet, beträgt die Differenz zwischen den gerundeten Werten für das Maximum und das Minimum $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ursächlich für die Unterschiede ist die Bebauungsstruktur in diesen Straßenbereichen. Während im Schlosswall zwischen den Gebäuden zum Teil Lücken existieren, die eine Querlüftung und damit eine bessere Durchmischung ermöglichen, ist im Bereich der Wohnnutzung in der Straße Neuer Graben eine geschlossene Bebauungsreihe vorhanden, bei der zwischen den Gebäuden keine Querlüftungseffekte auftreten können.

Zur Absicherung der Rechenergebnisse wurde mit Jahresbeginn 2020 eine zusätzliche Passivsammlermessstelle in der Straße Neuer Graben eingerichtet.



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/lufthygienische_uberwachung_niedersachsen/berichte/sonderberichte/archiv/archivsonderberichte112286.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
- HAGEMEIER, 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: 20.12.2018.
http://download.lohmeyer.de/hb_winmisk.pdf (06.05.2020)
- 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.; REICHEN-BÄCHER, W.: Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35 (2001), 1, S. 23 – 33
- 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 Fahrenmodell 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> (19.02.2020)

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 im Schlosswall	8
Tabelle 2: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt des Schlosswalls.....	11
Tabelle 3: Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte für die Straßen Neuer Graben und Neumarkt	13
Tabelle 4: Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt der Straßen Neuer Graben und Neumarkt	16
Tabelle 5: Verkehrsdaten der untersuchten Straßen.....	17
Tabelle 6: Blattflächendichte für Vegetation im belaubten (LAD _b) und unbelaubten Zustand (LAD _u)	19
Tabelle 7: Kenndaten der DWD-Station Belm	19
Tabelle 8: Bodentypen und Rauigkeitslängen nach Eichhorn (2011)	21
Tabelle 9: Steuerparameter der Strömungsberechnung	22
Tabelle 10: Steuerparameter der Ausbreitungsrechnung	22
Tabelle 11: Steuerparameter verkehrserzeugte Turbulenz	23
Tabelle 12: Datenbasis zur Ermittlung der Gesamtbelastung mittels des Chemiemodells nach Düring (2011)	24
Tabelle 13: Berechnungs- und Messergebnisse für die zwei Osnabrücker Untersuchungsgebiete.....	25
Tabelle 14: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 1,5 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der östlichen höher belasteten Seite des Schlosswalls	34
Tabelle 15: Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in 3,9 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zur Bebauung auf der südlichen Seite der Straße Neuer Graben	36
Tabelle 16: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse der MISKAM-Berechnungen und der Messungen des LÜN für das Bezugsjahr 2018.	37

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Schlosswall.....	7	Abbildung 13: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt des Schlosswalls in Höhe von 1,5 m (Messhöhe: 1,6 m).....	26
Abbildung 2: Querschnitt der Straßenschlucht des Schlosswalls mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung).....	8	Abbildung 14: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt des Schlosswalls im Bereich der NO ₂ -Messung über eine Höhe von 0 bis 20 m (Darstellung Blickrichtung Nord).....	28
Abbildung 3: Straßenschlucht des Schlosswalls mit Blickrichtung Nord.....	9	Abbildung 15: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbegleitenden Bebauung auf der östlichen Seite im Bereich Schlosswall 17 (rechts) bis 29 (links) über eine Höhe von 0 bis 20 m.....	29
Abbildung 4: Orthofoto mit dem Straßenzug des Schlosswalls und der Lage der Messstation des LÜN.....	10	Abbildung 16: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbegleitenden Bebauung auf der westlichen Seite im Adressbereich Schlosswall 12 bis 22 (siehe Abbildung 5) über eine Höhe von 0 bis 20 m (Legende: siehe Abbildung 15).....	29
Abbildung 5: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden im Schlosswall.....	11	Abbildung 17: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Abschnitt der Straßen Neuer Graben und Neumarkt in Höhe der Messung (2,7 m).....	30
Abbildung 6: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet Neuer Graben/Neumarkt.....	12	Abbildung 18: NO ₂ -Konzentrationsverteilung im Querschnitt der Straße Neuer Graben im Bereich der NO ₂ -Messung über eine Höhe von 0 bis 23 m (Darstellung mit Blickrichtung West).....	31
Abbildung 7: Querschnitt der Straßenschlucht der Straße Neuer Graben mit Messpunkt der Stickstoffdioxidmessung des LÜN (orange Markierung).....	13	Abbildung 19: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur südlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Lyrastraße (links) und Johannisstraße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 35 m.....	32
Abbildung 8: Straßenschlucht Neuer Graben mit Blickrichtung Neumarkt.....	14	Abbildung 20: NO ₂ -Konzentrationsverteilung parallel zur nördlichen straßenbegleitenden Bebauung zwischen Alte Münze (links) und Neumarkt (rechts) über eine Höhe von 0 bis 35 m (Legende: Siehe Abbildung 19).....	32
Abbildung 9: Orthofoto mit den Straßen Neuer Graben und Neumarkt und dem Messpunkt zur Stickstoffdioxidmessung.....	15	Abbildung 21: NO ₂ -Konzentration im Schlosswall in 1,5 m Höhe im Abstand von 2,5 m zu den Gebäuden.....	34
Abbildung 10: Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden in den Straßen Neuer Graben und Neumarkt.....	16	Abbildung 22: NO ₂ -Konzentration im Bereich Neuer Graben und Neumarkt in 3,9 m Höhe und im Abstand von 2,5 m zu den Gebäuden.....	35
Abbildung 11: Windrichtungsverteilung der DWD Station Belm für das Jahr 2018.....	20		
Abbildung 12: Zusammensetzung der NO ₂ -Immission innerhalb eines Stadtgebietes (vgl. Lenschow et al. 2001, geändert).....	23		