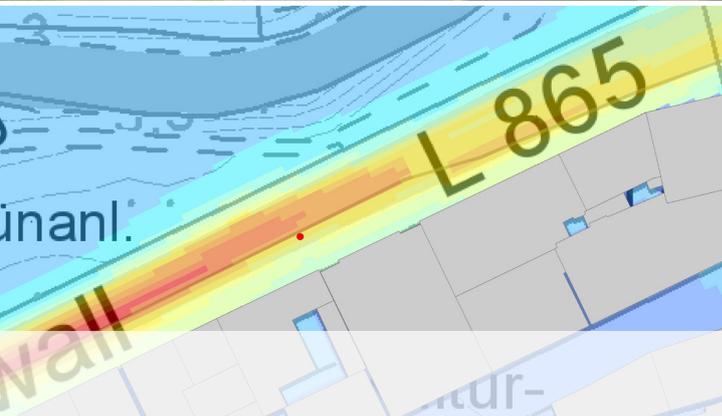




Staatliches  
Gewerbeaufsichtsamt  
Hildesheim



## Untersuchung der Stickstoffdioxid- konzentration im Umfeld der LÜN- Messstation im Heiligengeistwall in Oldenburg

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



Niedersachsen



## Herausgeber

### **Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim**

Goslarsche Straße 3, 31134 Hildesheim

Hildesheim, 31. Januar 2019

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

Dezernat 41 – *Uwe Strotkötter*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Aufgabenstellung und Methodik .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Eingesetzte Modelltechnik .....</b>	<b>4</b>
2.1 Das prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM .....	4
2.2 Physikalische und numerische Grundlagen .....	4
2.3 Evaluierung des Modells MISKAM .....	5
2.4 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen .....	5
2.5 Eingabegrößen des Modells .....	5
2.6 Validierung des Modells in Bezug auf die Berücksichtigung der Vegetation .....	6
<b>3. Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>7</b>
3.1 Verkehrssituation im Heiligengeistwall .....	7
3.2 Bebauungs- und Vegetationssituation im Heiligengeistwall .....	8
<b>4. Ausgangsdaten .....</b>	<b>12</b>
4.1 Verkehrsemissionen .....	12
4.2 Gebäudedaten .....	13
4.3 Vegetationsdaten .....	13
4.3.1 Vegetationsbedeckungsgrad .....	13
4.3.2 Blattflächendichte .....	14
4.4 Meteorologie .....	14
4.5 Modellparameter .....	15
4.5.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung .....	15
4.5.2 Rauigkeitslänge .....	16
4.5.3 Modellierung der Emissionsquellen .....	16
4.5.4 Steuerparameter .....	16
<b>5. Berechnungsszenarien und -ergebnisse .....</b>	<b>18</b>
5.1 Methodik zur Ermittlung der Vor- und Gesamtbelastung .....	18
5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten des LÜN .....	19
5.3 Darstellung der räumlichen Konzentrationsverteilung im Straßenraum .....	20
5.4 Darstellung der Konzentrationsverhältnisse zwischen Fahrbahn und Bebauungslinie .....	23
5.5 Konzentrationsverteilung im Bereich der Gebäude mit Wohnnutzung .....	25
5.6 Konzentrationsverteilung im fahrbahnnahen Bereich .....	25
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>26</b>
<b>7. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>27</b>
<b>8. Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>28</b>
<b>9. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>28</b>

## 1. Aufgabenstellung & Methodik

Die ZUS LLGS wurde vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz am 28.11.2018 beauftragt für die Standorte der verkehrsnahen Messstationen in Oldenburg und Hannover die Verteilung der Konzentration von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) zu untersuchen. Dieser Bericht beschreibt die Untersuchung für einen Teilbereich des Heiligengeistwalls in Oldenburg, in dem eine Station (Kennung DENI143) des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsens (LÜN) steht.

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationsverteilung in dem Teilabschnitt des Heiligengeistwalls, den die zuvor genannte LÜN-Station 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 Untersuchung wird das prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM ausgewählt. Der Name MISKAM steht für Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Die Wahl des Modells ist in der generellen Eignung des Programms für Strömungs- und Ausbreitungsberechnungen in bebautem Gebiet begründet. Das Modell MISKAM wird nachfolgend beschrieben.

### 2.1 Das prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM

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

### 2.2 Physikalische und numerische Grundlagen

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

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

Zur Parametrisierung der Turbulenz wird im Modell MISKAM eine Schließung erster Ordnung in Form des E- $\epsilon$ -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- $\epsilon$ -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 Aussagen treffen zu können, kann im Modell die Sedimentation über den Ansatz einer konstanten Sedimentationsgeschwindigkeit und die Deposition über den Ansatz einer Depositionsgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Die Sedimentationsgeschwindigkeit wird bei der Berechnung der Advektion der Vertikalkomponente des Windfeldes zugeschlagen (vgl. Zenger 1998 S. 132).

## 2.3 Evaluierung des Modells MISKAM

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

## 2.4 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

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

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

Eine Begrenzung des Anwendungsbereichs erfährt das Modell in Bezug auf steile Topographien, labile thermische Schichtungen der Atmosphäre und Übersättigung bzw. Kondensation (vgl. Eichhorn 2011 S. 13). Chemische Prozesse wie z. B. die Stickoxid-Konversion, können nicht berücksichtigt werden. Dies ist jedoch unproblematisch, da die Umwandlung von  $\text{NO}_x$  zu  $\text{NO}_2$  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- $\epsilon$ -Turbulenzschließung die Höhe der Rezirkulationszone unterschätzt. Diese Eigenschaft des E- $\epsilon$ -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 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 Rauiglängelänge ( $z_0$ ) 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  $\text{m}^2/\text{m}^3$  und zum Vegetationsbedeckungsgrad. Die Blattflächendichte drückt aus, wie viel Blattfläche pro Volumen im Kronenraum eines Baumes vorhanden ist. Der Vegetationsbedeckungsgrad quantifiziert, in welchem Maße eine Gitterzelle in der Draufsicht Vegetation enthält.

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

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

## 2.6 Validierung des Modells in Bezug auf die Berücksichtigung der Vegetation

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

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

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

Die Studie von Ries und Eichhorn (2001) hat zum einen die Durchströmung von unterschiedlichen Arten der Vegetation wie z. B. Laub- oder Nadelbäume zum Gegenstand. Hier wurden die Windprofile und die Turbulenzenergie im Luv, im Lee und innerhalb der Vegetation selbst untersucht. Zum anderen wurde die Strömung und Schadstoffverteilung

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

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

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



### 3. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Innenstadtbereich der Stadt Oldenburg und besitzt eine Ausdehnung von 1200 m x 800 m. Im Kern des Untersuchungsgebietes liegt der Heiligengeistwall, der den Untersuchungsschwerpunkt darstellt. Das Untersuchungsgebiet ist als weitestgehend eben zu bezeichnen.

#### 3.1 Verkehrssituation im Heiligengeistwall

Das Straßennetz im Untersuchungsgebiet ist der topographischen Karte in Abbildung 1 zu entnehmen. Der Heiligengeistwall ist Teil einer Ringstraße in der Oldenburger Innenstadt und besitzt eine südwestlich-nordöstliche Ausrichtung. Das Verkehrsaufkommen im Heiligengeistwall ist mit einem DTV von 11.300 Kraftfahrzeugen pro Tag eher moderat. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt in diesem Bereich 50 km/h.

Im Bereich des für die Untersuchung relevanten Abschnittes ist die Straße zweispurig. Darüber hinaus besitzt die Straße an verschiedenen Stellen Abbiegespuren. Im östlichen Bereich, in dem der Heiligengeistwall an die Straßen Staulinie und Staugraben anschließt, fächert sich die Straße auf insgesamt 4 Spuren sowie eine Haltebucht für die in den Heiligengeistwall einfahrenden Busse auf. Von den vier Spuren führen drei aus dem Heiligengeistwall hinaus und eine in den Heiligengeistwall hinein. Eine der hinausführenden Spuren ist eine Busspur. Der Busverkehr stellt einen relevanten Anteil am Gesamtverkehr dar. Die Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung des Verkehrs im Heiligengeistwall. Die Daten wurden von der Stadt Oldenburg in 2018 zur Verfügung gestellt und basieren auf einer kontinuierlichen Zählung durch Seitenradargeräte im Heiligengeistwall.

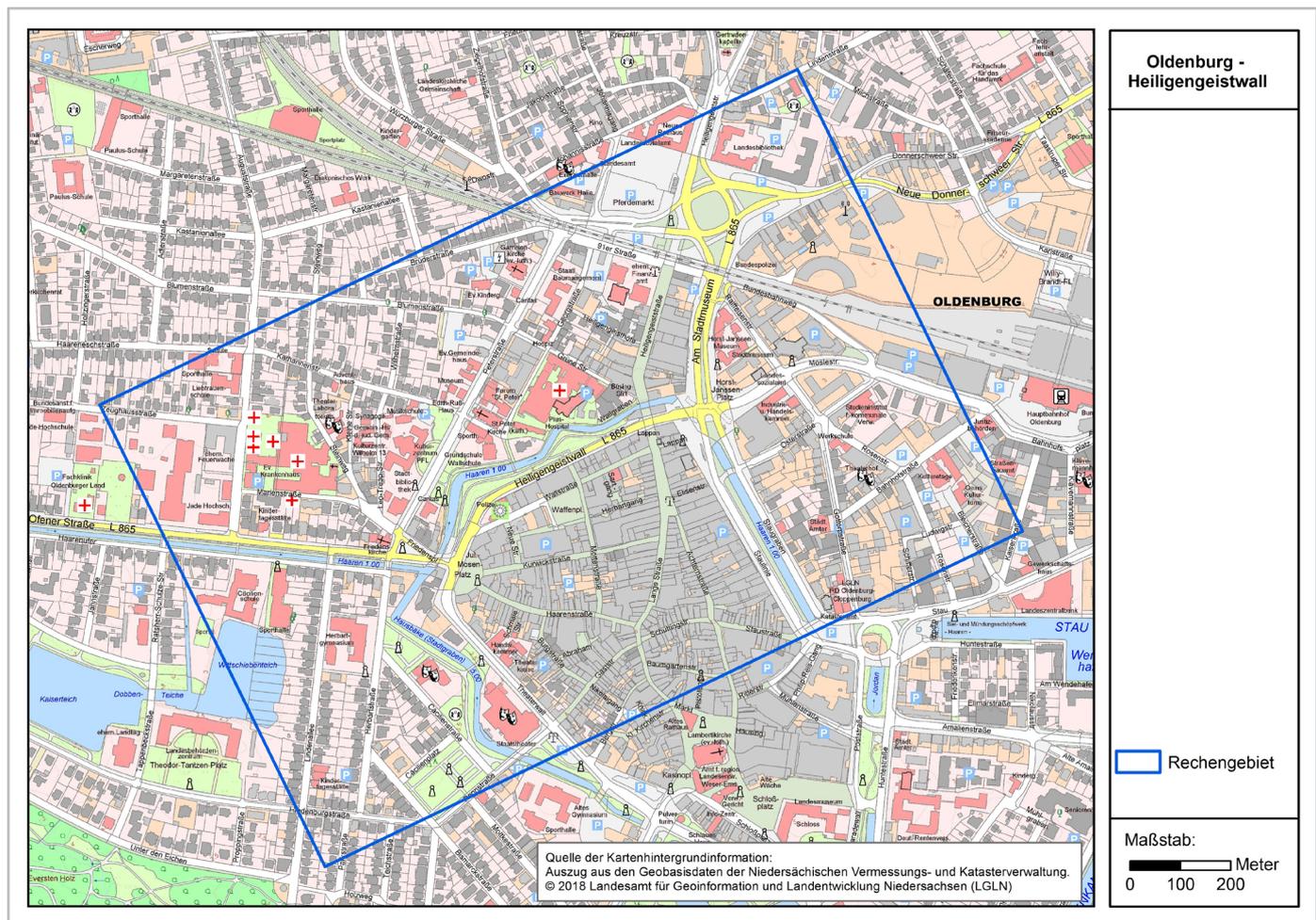


Abbildung 1: Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet

**Tabelle 1:** Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte im Heiligengeistwall

Fahrzeugtyp	DTV	
	[Kfz/d]	[%]
Pkw	8.611	76,2
Kraft- und Motorräder	57	0,5
Busse	1.107	9,8
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	1.503	13,3
schwere Nutzfahrzeuge (ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)	23	0,2

Die Verkehrssituation im Heiligengeistwall ist durch Lichtsignalanlagen beeinflusst. Eine Ampel ist etwa 80 m westlich der Einmündung in die Straßen Staulinie und Staugraben installiert. Dort kreuzt die Lange Straße (Fußgängerzone) den Heiligengeistwall. Eine weitere Lichtsignalanlage ist etwa 140 m weiter westlich an der Einmündung der Mottenstraße installiert. Auf halber Strecke zwischen den Lichtsignalanlagen befindet sich auf der südlichen Seite des Heiligengeistwalls die Messstation des LÜN. Die Lage der Messstation kann der Abbildung 4 entnommen werden.

### 3.2 Bebauungs- und Vegetationssituation im Heiligengeistwall

Die Geometrie des Straßenraums im Heiligengeistwall ist durch Bebauung und Vegetation geprägt. Die Abbildung 2 beschreibt den Querschnitt des Heiligengeistwalls im Bereich der Messstation.

Der Heiligengeistwall ist in dem für die Untersuchung relevanten Bereich einseitig bebaut. Die Bebauung entlang der südlichen Seite des Heiligengeistwalls weist sehr unterschiedliche Höhen auf. Die Gebäudehöhen liegen zwischen 7 m und 18 m. Die andere Fahrbahnseite ist durch einen straßenbegleitenden Vegetationsstreifen geprägt.

Im Bereich der Messstelle liegen zwei Gebäude mit Höhen von ca. 7 und 18 m. Das höhere Gebäude besitzt dazu ein Vordach, welches ca. 2,5 m auf den Gehweg hinaus ragt. In Richtung der Straße schließt sich zunächst ein Fußweg und ein Radweg an. Zwischen diesem Bereich und der Straße ist ein Parkstreifen für Fahrzeuge vorgesehen. In diesem Bereich befindet sich der Messcontainer. Der Abstand zwischen der Bebauung und der Straße beläuft sich auf etwa 7 m. Der Parkstreifen für die Fahrzeuge wird wiederholt durch einzelne Bäume unterbrochen. Die zweispurige Straße besitzt in etwa eine Breite von 6 m. Auf der nördlichen Seite der Straße befinden sich ein schmaler Grünstreifen und ein Radweg. Der Straßenraum wird im Anschluss an den Radweg durch einen Vegetationsstreifen begrenzt.

Die Ausprägung der Vegetation entlang des Heiligengeistwalls ist nicht homogen. Die unten stehende Fotoaufnahme (Abbildung 3) sowie das darauf folgende Luftbild (Abbildung 4) veranschaulichen dies.

Der Vegetationsstreifen besteht aus zwei unterschiedlich alten Baumreihen und Büschen. Bei den Bäumen handelt es sich im Wesentlichen um Linden. Die Baumreihe mit den jüngeren Linden erstreckt sich nur über Teilstücke des Heiligengeistwalls. Sie beginnt östlich der Kreuzung Lange Straße/Heiligengeistwall und zieht sich straßenparallel über ca. 60 m in Richtung Südwesten. Von der Straße aus gesehen befindet sich hinter dieser jüngeren Baumreihe eine Baumreihe mit älteren Bäumen, welche ebenfalls aus Linden und wenigen Kastanien besteht. Diese ältere Baumreihe setzt im weiteren Verlauf der Straße die junge Baumreihe fort und liegt damit näher an der Straße, als in den ersten 60 m. In diesem Bereich besteht die ältere Baumreihe ausschließlich aus Linden. Sie erstreckt sich über die gesamte unbebaute Straßenseite des Heiligengeistwalls. Das südwestlichste Teilstück des Heiligengeistwalls knickt in Richtung Süden ab. Dieser Teil des Heiligengeistwalls weist straßenbegleitend eine Baumreihe mit jüngeren Linden auf. Die Höhe der jüngeren Baumreihen wird mit 10 m abgeschätzt, die Höhe der älteren Baumreihe mit 20 m. Neben den Baumreihen ist der bodennahe Bereich des Vegetationsstreifens in weiten Teilen durch Büsche und Sträucher geprägt. Der Kronenbereich der Bäume überragt die Straße nicht in relevantem Maße. Das Luftbild in Abbildung 4, welches die Vegetation in der Straßenschlucht im weitestgehend unbelaubten Zustand zeigt, verdeutlicht dies.

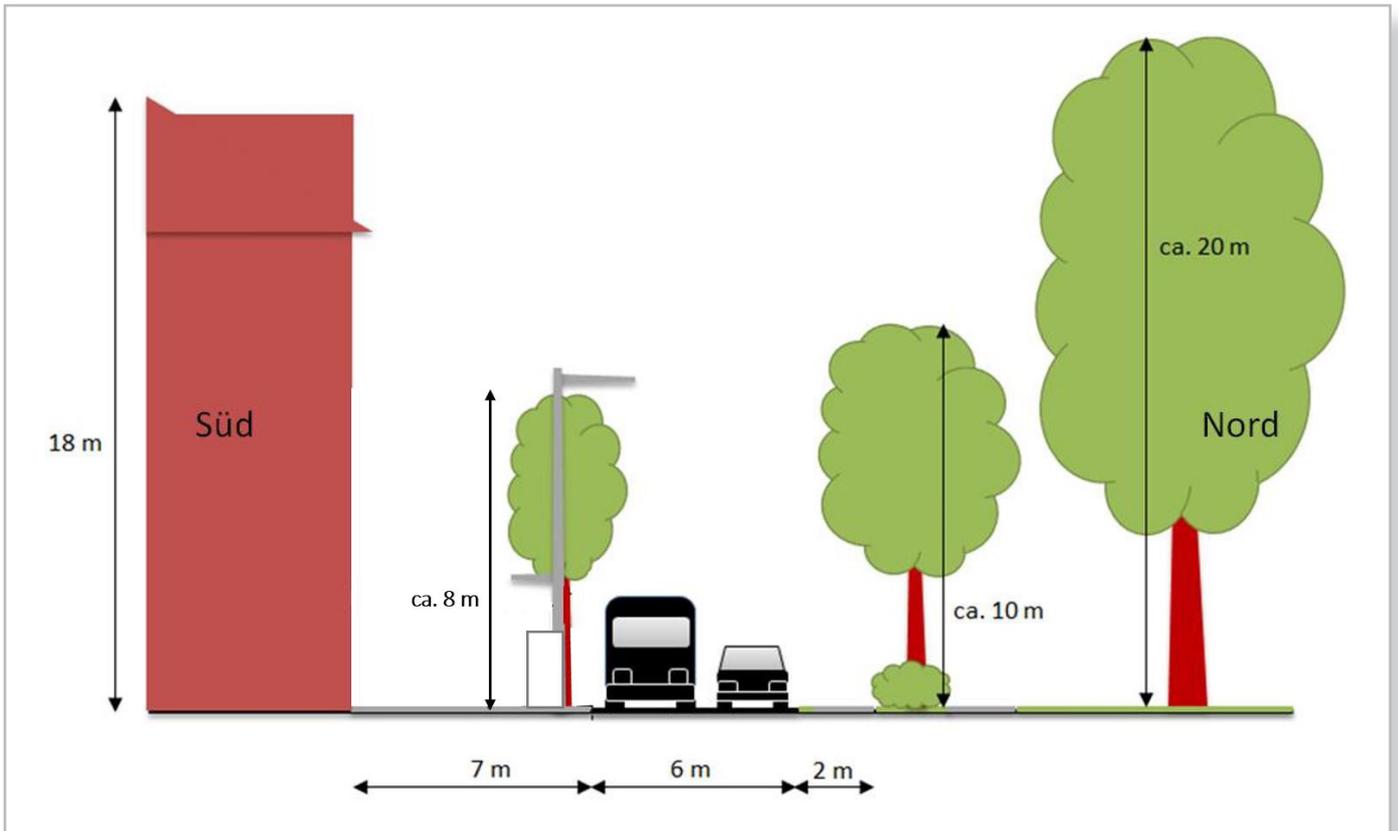


Abbildung 2: Querschnitt des Heiligengeistwalls im Bereich der Messstation des LÜN



Abbildung 3: Blick in den Heiligengeistwall in Richtung Südwesten von der Einmündung der Heiligengeiststraße



**Abbildung 4:** Orthofoto mit dem Straßenzug des Heiligengeistwalls und der Messstation des LÜN

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 Heiligengeistwalls erforderlich. Dazu wurden zum einen von der Stadt Oldenburg Informationen zur Anzahl der Personen, die in diesem Bereich

des Heiligengeistwalls wohnen zur Verfügung gestellt und zum anderen im Rahmen einer Ortsbegehung am 09.01.2019 durch die ZUS LLGS die Nutzungsform der Gebäude erhoben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Nutzungsform der Gebäude bezogen auf die verschiedenen Geschosse.

**Tabelle 2:** Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt des Heiligengeistwalls

Adresse	Anzahl Bewohner	Nutzung EG	Nutzung 1. OG	Nutzung 2. OG und höher
Lange Str. 90	1	Gewerblich	Gewerblich	Wohnen
Heiligengeistwall 1	0	Gewerblich	Gewerblich	Kein 2. OG
Heiligengeistwall 2	8	Gewerblich	Gewerblich	Wohnen
Heiligengeistwall 3	0	Keine <sup>1</sup>	Keine <sup>1</sup>	Keine <sup>1</sup>
Heiligengeistwall 5	2	Gewerblich	Wohnen	Kein 2. OG
Heiligengeistwall 6	6	Gewerblich	Gewerblich	Wohnen
Heiligengeistwall 7	0	Gewerblich	Gewerblich	Keine
Heiligengeistwall 8	5	Gewerblich	Wohnen	Wohnen
Heiligengeistwall 9	1	Keine <sup>2</sup>	Wohnen	Wohnen

<sup>1)</sup> Gebäude wurde früher als Kino genutzt und ist derzeit ungenutzt.

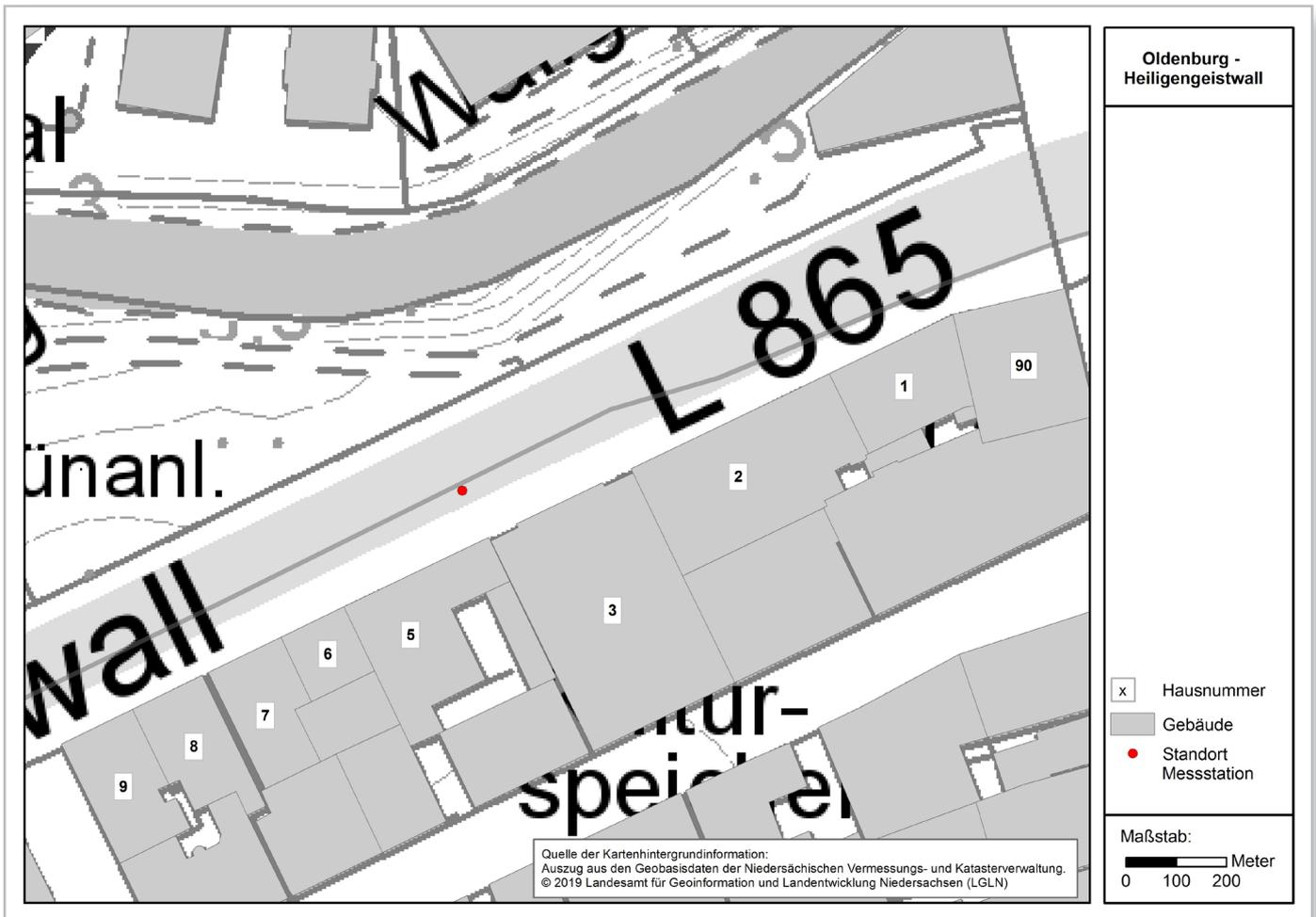
<sup>2)</sup> Zum Zeitpunkt der Erhebung keine Nutzung, vormals Gastronomie.



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. Demzufolge befindet sich zum Stand 09.01.2019 keine Wohnnutzung im Erdgeschoss der Gebäude im untersuchten Teil des Heiligengeistwalls. Die Erdgeschosse werden entweder gewerblich genutzt oder sind ungenutzt. Eine Zuordnung als Wohn-

nutzung erfolgte dementsprechend nur für das erste Obergeschoss und höhere Geschosse.

Um eine Zuordnung der Gebäude zu den in der vorangegangenen Tabelle dargestellten Adressen zu ermöglichen, ist in Abbildung 5 die betrachtete Gebäudereihe mit den Hausnummern dargestellt.



**Abbildung 5:** Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden im Heiligengeistwall und der Langen Straße

## 4. Ausgangsdaten

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

Im Rahmen dieser Untersuchung werden ausschließlich die Emissionen der Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) berücksichtigt. Die für die Berechnungen mit dem Modell MISKAM erforderlichen Emissionsdaten sind die Emissionen des Verkehrs. 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<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs basieren auf den Daten, die für die Berechnungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung der Stadt Oldenburg vom GAA Hildesheim verwendet wurden. Die Emissionen sind auf die Fahrzeugflotte im Jahr 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 1 dargestellt.

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

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

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

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

Auf Basis der zuvor dargestellten Daten wird pro Fahrzeugart für jede einzelne Fahrzeugschicht (unterschieden nach Motorkonzept, Euronormstufe und Gewichtsklasse) und für jede Verkehrssituation ein Schichtemissionsfaktor gebildet. Die wesentliche Datengrundlage für diese differenzierte Ermittlung der Emissionsfaktoren stellt das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) dar. Die Tabelle 3 zeigt exemplarisch für den Heiligengeistwall einen Teil der für die Emissionsberechnung relevanten Kenngrößen sowie die berechneten Emissionen für die Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).

Neben den Emissionen des Straßenverkehrs werden in den Berechnungen mit dem Modell MISKAM auch die Emissionen des Bahnverkehrs berücksichtigt. Stickstoffoxide werden durch Motorabgase des nicht elektrifizierten Schienenverkehrs verursacht. Im Untersuchungsgebiet liegen ein Teil des Oldenburger Bahnhofs sowie der nach Westen verlaufende Gleisstrang. Die Bahnemissionen wurden der Veröffentlichung des GAA Hildesheim aus dem Jahr 2012 entnommen und stammen aus dem Bahn-Emissionskataster-Schienenverkehr des Bahn-Umwelt-Zentrums der DB AG (vgl. GAA Hildesheim 2012 S. 13).

**Tabelle 3:** Verkehrsdaten für den Heiligengeistwall

Kategorie	Heiligengeistwall
Verkehrsstärke (DTV) [Kfz/d]	11.300 <sup>1)</sup>
- Pkw	8.611
- Krad	57
- Bus	1.107
- leichte Nutzfahrzeuge [bis 3,5 t]	1.503
- schwere Nutzfahrzeuge [ab 3,5 t]	23
Straßentyp	Hauptverkehrsstraße
zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	50
Anzahl Fahrspuren	2
Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs [%]:	
- freier Verkehr (LOS 1)	40
- dichter Verkehr (LOS 2)	50
- gesättigter Verkehr (LOS 3)	10
- Stop-and-go (LOS 4)	0
NO <sub>x</sub> -Emission [g/(m·d)]	8,32
NO <sub>2</sub> -Emission [g/(m·d)]	2,05

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

## 4.2 Gebäudedaten

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

In dieser Untersuchung wird ein digitales Gebäudemodell verwendet. Für das Untersuchungsgebiet in Oldenburg wird auf Daten zurückgegriffen, welche vom GAA Hildesheim im Rahmen der Abschätzung der Luftschadstoffbelastung in Oldenburg beschafft wurden. Bei den Daten handelt es sich um Laserscannerdaten aus dem Jahr 2007. 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 am Heiligengeistwall unter Berücksichtigung der Dachform am besten. Das Luftbild in Abbildung 4 zeigt die Dachformen anschaulich. Da im Umfeld des Heiligengeistwalls bauliche Änderungen erfolgt sind, wurde das Gebäudemodell angepasst. Die Änderung des Gebäudemodells betrifft die baulichen Änderungen im Heiligengeistwall westlich der Mottenstraße und am Pius Hospital, welches ca. 30 m nördlich des Heiligengeistwalls liegt.

## 4.3 Vegetationsdaten

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

Im Heiligengeistwall tritt die Vegetation in Form eines straßenbegleitenden Baum- und Strauchbestandes auf. Die Anordnung der Vegetation in den Straßenräumen kann der Abbildung 3 und der Abbildung 4 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.

### 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 des Heiligengeistwalls wird im Modell mit einer Gitterweite von 1 m x 2 m in der Horizontalen hoch aufgelöst. Die Erhebung der räumlichen Ausdehnung der Vegetation am Heiligengeistwall erfolgte im Rahmen einer Masterarbeit (Strotkötter 2013) über vor-Ort-Erhebungen und über die Auswertung eines aktuellen Luftbildes (siehe Abbildung 4).

Der Vegetationsbedeckungsgrad für den Bereich der Baumkronen der Linden wird aufgrund der Kronenform durchgängig mit 100 % angesetzt. Dies gilt auch für die niedere Vegetation im Heiligengeistwall. Eine ausführliche Herleitung dieses Ansatzes kann der zuvor genannten Masterarbeit entnommen werden.

### 4.3.2 Blattflächendichte

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

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

Als Höhe der Baumkrone wird in diesem Zusammenhang die vertikale Erstreckung zwischen dem Kronenansatz und dem Baumwipfel bezeichnet. Der LAI bezeichnet die Blattfläche, die ein Baum über der von seiner Krone überschirmten Bodenfläche im Luftraum entfaltet. Sie ist ein Maß für die Belaubungs- bzw. Kronendichte einer Baumart und wird in m<sup>2</sup> Blattfläche pro m<sup>2</sup> 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 Linden im Heiligengeistwall werden die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Werte für die Blattflächendichte zugrunde gelegt. Eine ausführliche Ableitung dieser Werte kann der zuvor genannten Masterarbeit (Strotkötter 2013) entnommen werden.

**Tabelle 4:** Blattflächendichte für Vegetation im belaubten (LAD<sub>b</sub>) und unbelaubten Zustand (LAD<sub>u</sub>)

Vegetations-/Baumart	LAD <sub>b</sub> [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	LAD <sub>u</sub> [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
Linde	1,4	0,4
Niedere Vegetation	2,0	0,6

## 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.

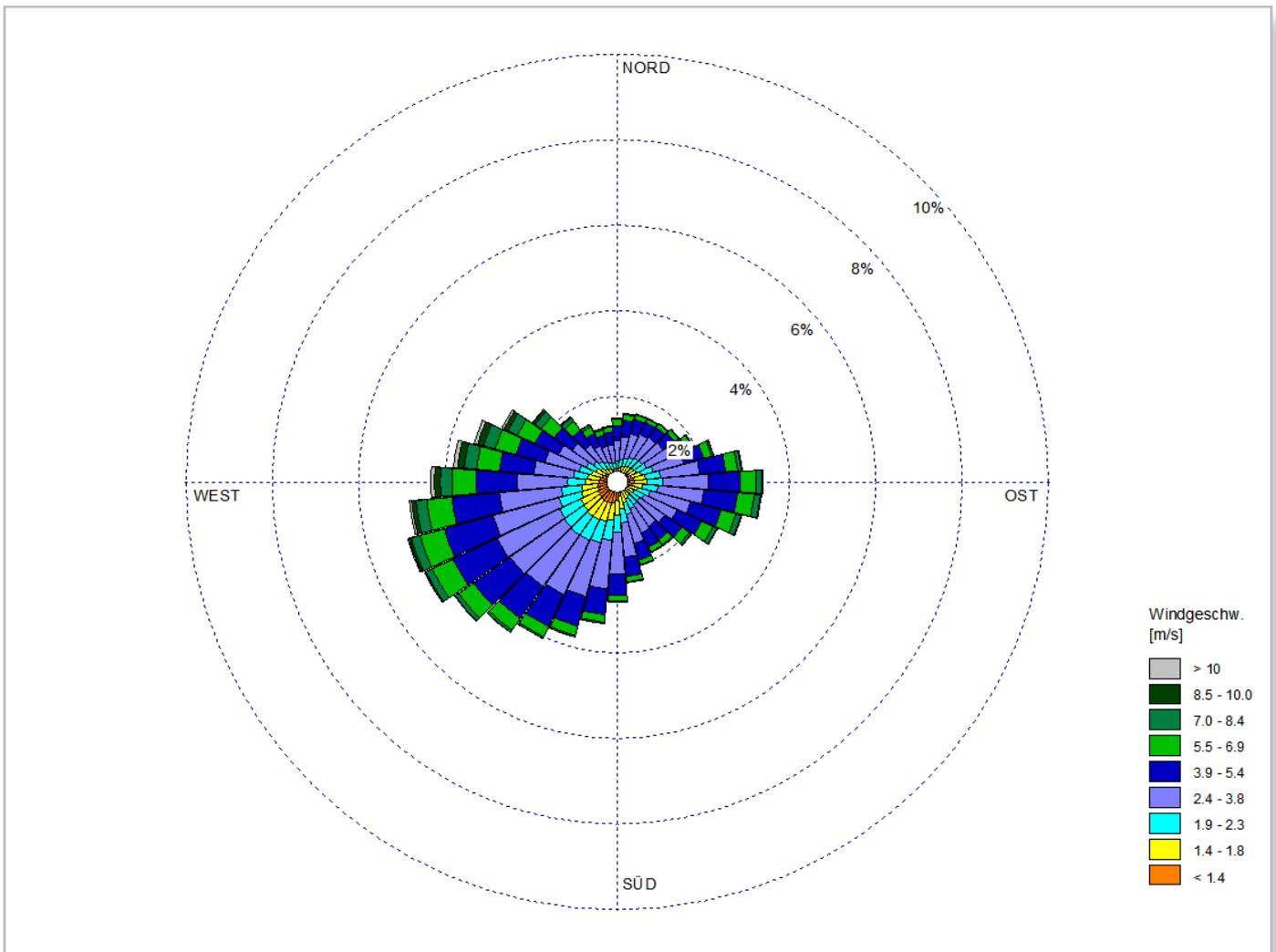
In dieser Untersuchung wird eine Ausbreitungsklassenstatistik (AKS) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Sie enthält für einen mehrjährigen Zeitraum die Werte der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit und der Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier.

Meteorologische Messungen im Untersuchungsgebiet Oldenburg Heiligengeistwall liegen nicht vor. Als meteorologische Eingangsdatei für die MISKAM-Berechnungen wird die Ausbreitungsklassenstatistik der DWD Station Oldenburg mit dem Bezugszeitraum 2001 bis 2010 verwendet. Die Station des DWD befand sich auf dem ehemaligen Fliegerhorst Oldenburg, welcher nordwestlich des Stadtzentrums von Oldenburg liegt. Die Messstation wurde zum 01.10.2012 vom DWD aufgelöst. Die Entfernung zum Untersuchungsschwerpunkt Heiligengeistwall beträgt ca. 5 km. In Tabelle 5 sind die wesentlichen Kenndaten der Station dargestellt. Sie sind der Stationsbeschreibung des DWD entnommen.

**Tabelle 5:** Kenndaten der DWD-Station Oldenburg

<b>Stationsname (Stationsnummer)</b>	Oldenburg (01497)
<b>Lage des Messortes (Gauß-Krüger-Koordinaten)</b>	RW: 3 444 718 HW: 5 894 266
<b>Rauigkeitslänge</b>	0,1 m
<b>Höhe des Stationsstandortes (NHN)</b>	11 m
<b>Anemometerhöhe</b>	9,6 m
<b>Räumliche Repräsentanz</b>	überregional

Die Windrichtungsverteilung der Station Oldenburg ist in Abbildung 6 dargestellt. Sie weist ein primäres Maximum in Westsüdwest und ein sekundäres Maximum in Ost auf, was typisch für den norddeutschen Raum ist. Die mittlere Windgeschwindigkeit der Ausbreitungsklassenstatistik liegt bei 3,5 m/s.



**Abbildung 6:** Windrichtungsverteilung der DWD Station Oldenburg für den Zeitraum 2001-2010

Die für die MISKAM-Berechnungen eingesetzten meteorologischen Daten sollen möglichst repräsentativ für die ungestörten Verhältnisse über Dachniveau im Untersuchungsgebiet sein. Der Stationsstandort auf dem ehemaligen Fliegerhorst Oldenburg liegt frei und weist mit Ausnahme eines Gebäudes 150 m südöstlich des Stationsstandortes in einem Radius von 250 m keine relevanten Strömungshindernisse auf. Das Gelände um den Ort der Messung ist im Sinne der Richtlinie VDI 3786 Blatt 2 als hindernisfrei zu bezeichnen. Auch das weitere Umfeld der Station ist als eben zu bezeichnen. In Bezug auf die Topographie sind keine relevanten Einflüsse vorhanden, welche einen Einfluss auf die Windrichtungsverteilung ausüben. Die Station wird vom DWD in der Stationsbeschreibung als überregional repräsentativ bezeichnet. Die Station Oldenburg repräsentiert die großräumige Windrichtungsverteilung für das Stadtgebiet Oldenburg und ist daher geeignet, die meteorologischen Verhältnisse über Dachniveau im Untersuchungsgebiet zu beschreiben.

## 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 des Rechengebietes beträgt für das Untersuchungsgebiet mit dem Heiligengeistwall 1200 m x 800 m in der Horizontalen und 500 m in der Vertikalen. Das Rechengebiet ist in Bezug auf die Hauptachse an den Straßenverlauf des Heiligengeistwalls orientiert. Diese Dimensionierung und Ausrichtung ermöglicht eine realitätsnahe Modellierung des Strömungsfeldes im zu untersuchenden Straßenbereich. Mit der gewählten vertikalen Ausdehnung von 500 m wird zudem die Randbedingung zur Anwendung des Modells, das die maximale Gebäudehöhe nicht

mehr als 30 % der Modellhöhe betragen darf, eingehalten (vgl. Eichhorn 2011 S. 40). Die maximale Gebäudehöhe beträgt im Untersuchungsgebiet Oldenburg Heiligengeistwall 39 m.

Die Gitterweite der Rechengebiete ist nicht äquidistant. Im Kernbereich des Rechengebietes in Oldenburg beträgt die räumliche Auflösung in der Horizontalen 1 m x 2 m. Dabei wird die Straßenschlucht in ihrer Breite in 1 m-Schritten und in Längsrichtung in 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 6 m x 5 m. In der Vertikalen ist das Rechengitter bodennah mit einer Gitterweite von 0,6 m aufgelöst. Diese Auflösung wird bis in eine Höhe von 3 m konstant gehalten und dann sukzessive vergrößert.

Insgesamt setzt sich das Rechengitter im Untersuchungsgebiet Oldenburg Heiligengeistwall aus 344 x 244 x 38 einzelnen Zellen zusammen.

#### 4.5.2 Rauigkeitslänge

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

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

**Tabelle 6:** Bodentypen und Rauigkeitslängen nach Eichhorn (2011)

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

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

#### 4.5.3 Modellierung der Emissionsquellen

Die Quellmodellierung der Verkehrsemissionen erfolgte in den durchgeführten Berechnungen in Form von Volumensquellen. 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 überdeckten 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. Dies ist für den Heiligengeistwall durch den signifikanten Anteil an Bussen begründet, welche Höhen von bis zu ca. 3 m aufweisen.

#### 4.5.4 Steuerparameter

Zur Durchführung der Strömungs- und der Ausbreitungsrechnung sind im Modell MISKAM Steuerparameter zu wählen. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt.

**Tabelle 7:** Steuerparameter der Strömungsberechnung

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



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

Als Abbruchkriterium kann entweder eine feste Zeit oder das Kriterium der Stationarität gewählt werden. Bei dem hier gewählten Kriterium Stationarität wird die 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 Ausbreitungsklassenstatistik entnommen.

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

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

Die für die Ausbreitungsrechnungen anzusetzenden Parameter sind in der nachfolgenden Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8:** Steuerparameter der Ausbreitungsrechnung

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

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

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

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

## 5. Berechnungsszenarien und -ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die berechneten Varianten und die Ergebnisse der Strömungs- und Ausbreitungsberechnungen für den Heiligengeistwall beschrieben.

Für das Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 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 ( $\text{NO}_x$ ) zum Gegenstand, die andere die Ausbreitung des direkt emittierten Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ). Aus den beiden Ausbreitungsrechnungen wird dann über den Ansatz von Düring (2011) die Stickoxidkonversion vorgenommen und eine  $\text{NO}_2$ -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 7 zeigt beispielhaft die Zusammensetzung der  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Immission innerhalb eines Stadtgebietes sowie eine Zuordnung zu den nachfolgend erläuterten Ermittlungswegen.

Der mit den MISKAM-Berechnungen ermittelte Immissionsbeitrag beinhaltet bereits einen Teil des städtischen Hintergrundes, da das Untersuchungsgebiet neben dem Untersuchungsschwerpunkt Heiligengeistwall noch weitere Straßen und somit Emissionsquellen beinhaltet. Dementsprechend sind der regionale Anteil der Hintergrundbelastung sowie der in der 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  $\text{NO}_2$ -Immission (vgl. UBA 2019) aus dem Datensatz für das Jahr 2016 zurückgegriffen. Aktuellere Daten waren zum Zeitpunkt der Berichtserstellung über den Kartendienst nicht verfügbar. Die Werte für die  $\text{NO}_2$ -Immission werden auf Basis von statistischen Zusammenhängen in eine  $\text{NO}_x$ -Immission umgerechnet. Dies ist erforderlich, da die Modellrechnungen auch  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen erzeugen. Zur Umrechnung wird das Verhältnis von  $\text{NO}_2$  zu  $\text{NO}_x$  aus den Hintergrundstationen des LÜN aus den Jahren 2016 bis 2018 zugrunde gelegt. Auf Basis dieses Ansatzes wird der regionale Anteil mit einer  $\text{NO}_2$ -Konzentration von  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und einer  $\text{NO}_x$ -Konzentration von  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  quantifiziert.

Der in den MISKAM-Berechnungen nicht berücksichtigte Anteil des städtischen Hintergrundes wird über eine Ausbreitungsrechnung mit einem Gauß-Modell ermittelt. Dazu wurde das Programm IMMIS<sup>net</sup> verwendet. Als Emissionsdaten werden alle Emissionsquellen aus dem Verkehr, dem Hausbrand sowie der Industrie und dem Gewerbe berücksichtigt, welche

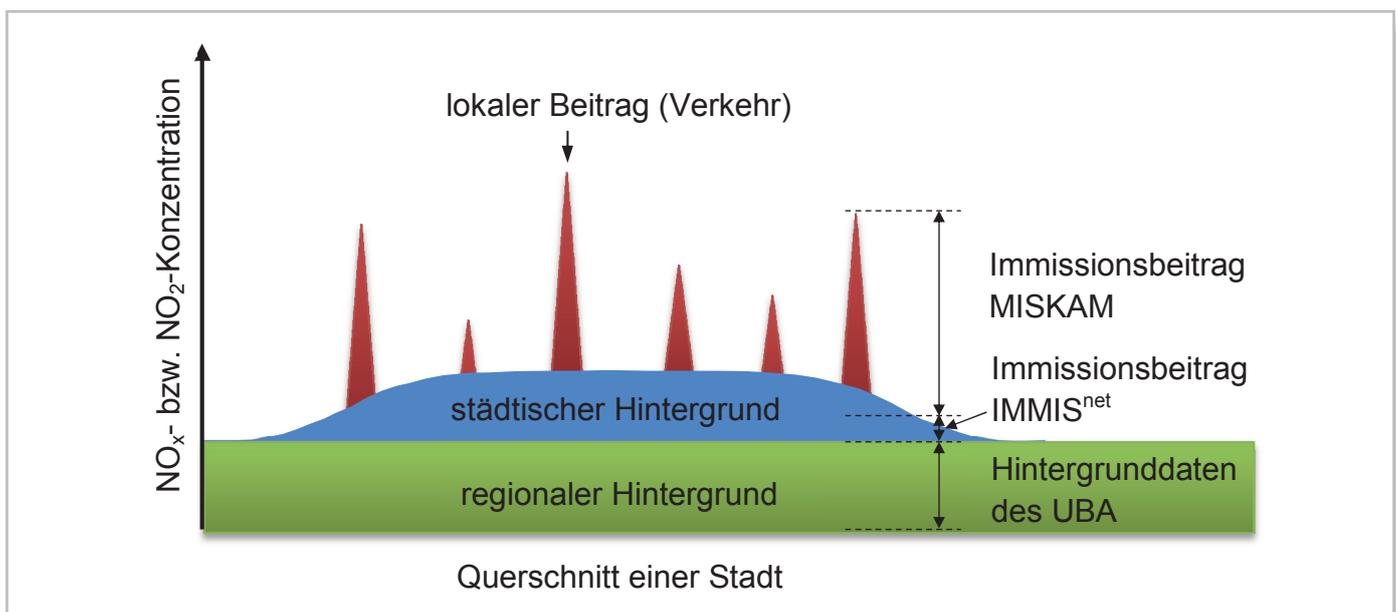


Abbildung 7: Zusammensetzung der  $\text{NO}_2$ -Immission innerhalb eines Stadtgebietes (vgl. Lenschow et al. 2001, geändert)



nicht Teil des Rechengebietes der MISKAM-Berechnungen sind. Die Berücksichtigung der Bebauung erfolgt über den Parameter der Rauigkeitslänge. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten meteorologischen Daten entsprechen denen, die im Abschnitt Meteorologie dargestellt sind. 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 Untersuchungsschwerpunkt Heiligengeistwall 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 Teilen zusammensetzt, wird als Konzentration von NO<sub>x</sub> bestimmt. Im Heiligengeistwall gemessen wird vom LÜN die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Konzentration. Rechtlich geregelt in Bezug auf den Schutz der menschlichen Gesundheit ist in der 39. BImSchV die Konzentration von NO<sub>2</sub>. Der Vergleich der berechneten mit der gemessenen Gesamtbelastung erfolgt auf Basis der NO<sub>2</sub>-Konzentration. Dazu ist eine Umrechnung der berechneten NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung auf eine NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung erforderlich. In der Praxis existieren verschiedene Ansätze, die je nach Aufgabenstellung und den zur Verfügung stehenden Daten (Stundenmittelwerte/Jahresmittelwerte) angewendet werden. Im Wesentlichen lassen sich zwei Arten von Ansätzen unterscheiden. Zum einen werden Ansätze wie der von Romberg (1996) verwendet, bei denen davon ausgegangen wird, dass das Verhältnis von NO<sub>2</sub> zu NO<sub>x</sub> in erster Näherung eine Funktion des Jahresmittelwerts der NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung ist (vgl. Neunhäuserer et al. 2011 S. 23). In Abhängigkeit von dem zugrunde liegenden Datenkollektiv unterscheiden sich die Parametrisierungen dieser Ansätze. Ein anderer Ansatz ist der von Düring et al. (2011), welcher ein vereinfachtes Chemiemodell auf Basis der Jahresmittelwerte der NO<sub>x</sub>-, NO<sub>2</sub>- und Ozon-Hintergrundbelastung sowie der primären NO<sub>2</sub>-Emission aus Messungen der Luftqualitätsmessstationen der Bundesländer parametrisiert (vgl. Düring et al. 2011 S. 67).

Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Ansatz von Düring et al. (2011) verwendet, welcher im Rahmen der Untersuchung von Neunhäuserer et al. (2011) als der geeignetste Ansatz zur Bestimmung der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung auf Basis von Jahresmittelwerten im Straßenraum eingestuft wird (vgl. Neunhäuserer 2011 S. 31). Die zur Ermittlung der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung verwendeten Werte für die Hintergrundbelastung für NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und Ozon sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

**Tabelle 9:** Datenbasis zur Ermittlung der Gesamtbelastung mittels des Chemiemodells nach Düring (2011)

Komponente	Konzentration [µg/m]
NO <sub>x</sub>	27
NO <sub>2</sub>	19
O <sub>3</sub>	55

Ozon wird an der Messstation im Heiligengeistwall nicht gemessen. Der in Tabelle 9 aufgeführte Wert der Ozonkonzentration stellt einen Mittelwert der Messwerte des Jahres 2018 der LÜN-Stationen im städtischen Hintergrund in Braunschweig, Hannover, Osnabrück und Göttingen dar.

## 5.2 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten des LÜN

Im Rahmen des Vergleichs werden die für das Jahr 2018 berechneten Immissionsbeiträge der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung dem Messwert der NO<sub>2</sub>-Messung aus 2018 gegenübergestellt.

Für den Heiligengeistwall wurde die NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung aus den beiden Berechnungsvarianten mit Vegetation im belaubten Zustand und mit Vegetation im unbelaubten Zustand gebildet. Der Zeitraum der Belaubung wird für die Linden auf Basis der Arbeit von Lauscher mit 210 Tagen bzw. sieben Monaten abgeschätzt (vgl. Lauscher 1988 S. 96). Dabei wird der Zeitraum vom Beginn der Belaubung bis zur 50 prozentigen Entlaubung zugrunde gelegt.

Die berechneten Immissionsbeiträge und der Messwert für die NO<sub>2</sub>-Messung am Heiligengeistwall sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 10:** Berechnungs- und Messergebnisse für den Heiligengeistwall

Art des Immissionsbeitrags	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
Berechnete Gesamtbelastung als gewichtetes Mittel der beiden Berechnungsvarianten (belaubt/unbelaubt)	46 <sup>1,2</sup>
Jahresmittelwert der Messung des LÜN in 2018	48 <sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Wert für die NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung unter Einbeziehung des regionalen und städtischen Hintergrundes

<sup>2)</sup> Messwert und Modellierungswert werden aufgrund der Unsicherheiten der Ermittlungsverfahren nicht mit Nachkommastelle angegeben

Der Vergleich der modellierten Werte mit dem Messwert des Heiligengeistwalls zeigt eine gute Übereinstimmung. Die modellierte Gesamtbelastung an NO<sub>2</sub> liegt mit 46 µg/m<sup>3</sup> 2 µg/m<sup>3</sup> unterhalb des Messwertes von 48 µg/m<sup>3</sup>. Bezogen auf den Grenzwert der 39. BImSchV von 40 µg/m<sup>3</sup> beträgt die Abweichung 5 %.

Zur Einordnung dieser Abweichung wird auf die Luftqualitätsrahmenrichtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 2008/50/EG) hingewiesen, welche als Datenqualitätsziel für Luftqualitätsbeurteilung eine Unsicherheit der Modellrechnung von 30 % in Bezug auf den Jahresmittelwert für NO<sub>2</sub> verlangt (vgl. Richtlinie 2008/50/EG 2008 S. 14).

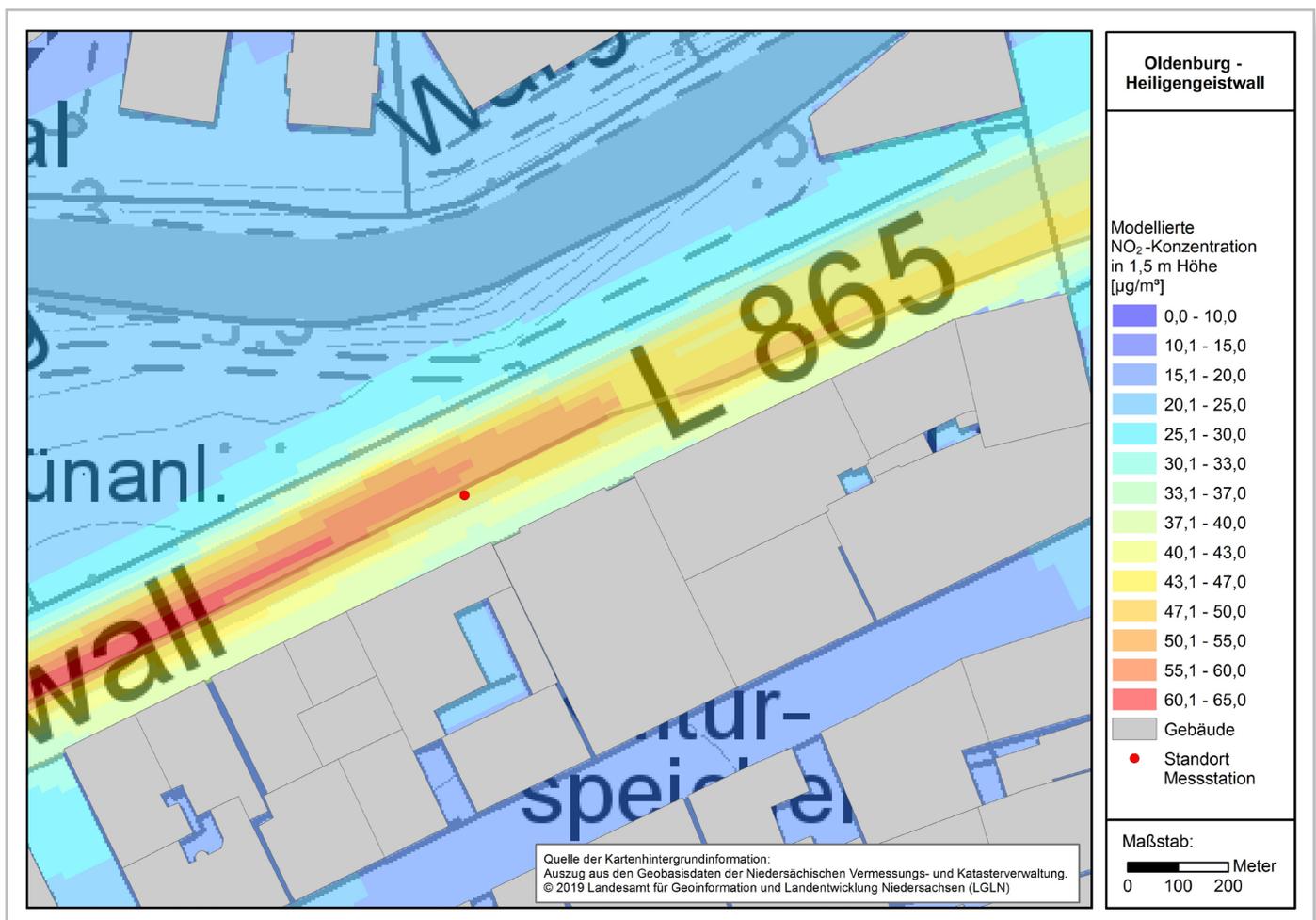
### 5.3 Darstellung der räumlichen Konzentrationsverteilung im Straßenraum

Die Darstellung der Konzentrationsverteilung von NO<sub>2</sub> im Straßenraum des Heiligengeistwalls erfolgt in diesem Bericht in unterschiedlicher Form. 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 Messstation repräsentativen Straßenabschnitt genutzt (siehe Abbildung 8). Dargestellt wird dabei der Mittelwert aus den beiden Berechnungsvarianten (belaubt/unbelaubt).

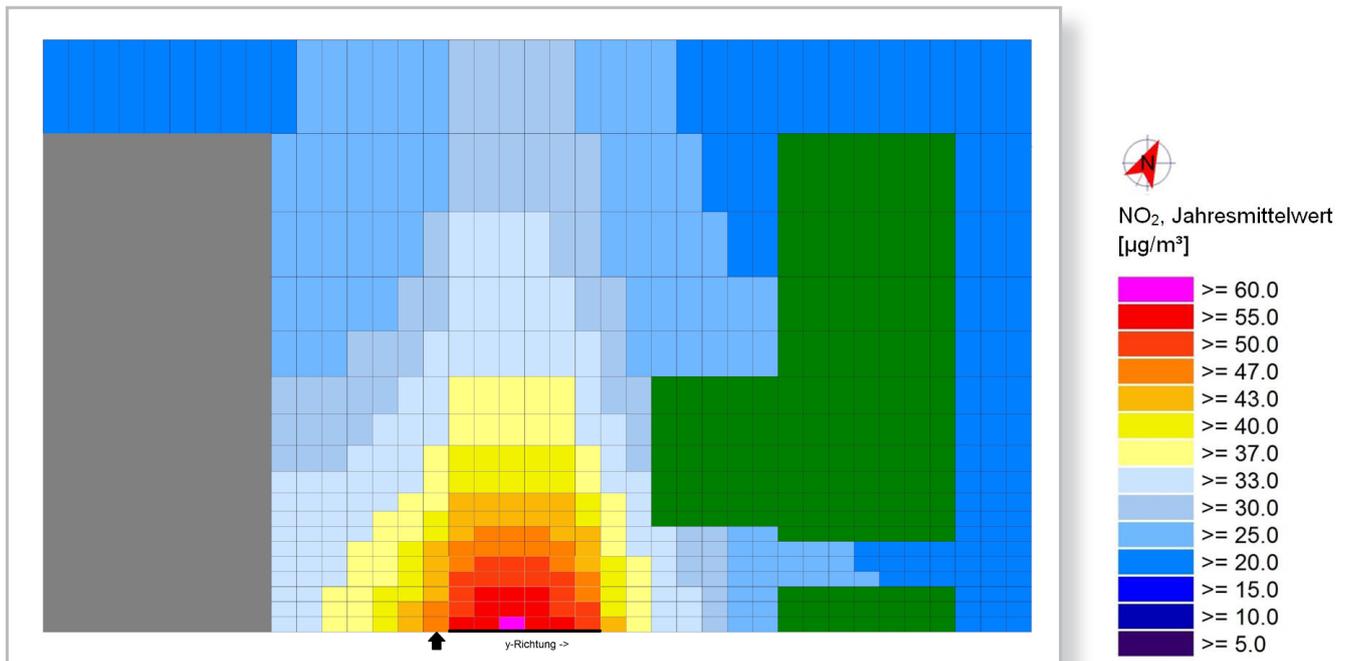
Es ist erkennbar, dass die höchsten Konzentrationen im Fahrbahnbereich auftreten. Vom Fahrbahnrand bis zur straßenbegleitenden Bebauung bildet sich ein Konzentrationsgefälle aus, das in Abhängigkeit von der Bebauungssituation (Höhe und Geschlossenheit) unterschiedlich stark ausgeprägt ist. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass, wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, die berechneten Konzentrationen unterhalb der gemessenen Konzentrationen liegen und für eine Aus-

wertung bezogen auf die Bebauungslinie die den Gebäuden nächstgelegenen zwei Gitterreihen nicht verwendet werden können (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen).

Als weitere Darstellungsform werden Vertikalschnitte verwendet. Der in Abbildung 9 dargestellte Vertikalschnitt ist quer zur Fahrbahn mit einer vertikalen Ausdehnung von 0 bis 23,5 m und einer horizontalen Ausdehnung mit straßenparalleler Bebauung (links stehend) und straßenparallelem Bewuchs gelegt. Aus diesem Vertikalschnitt lässt sich die Konzentrationsverteilung über den Straßenquerschnitt erkennen. Dazu wird 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 Konzentrationen sind die Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft der gebäudenahen Zellen zu beachten (siehe Abschnitt Anwendungsgrenzen).



**Abbildung 8:** NO<sub>2</sub>-Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt im Heiligengeistwall in Höhe der Messung (1,5 m)



**Abbildung 9:** *NO<sub>2</sub>-Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt des Heiligengeistwalls im Bereich der Messstation über eine Höhe vom 0 bis 23,5 m*

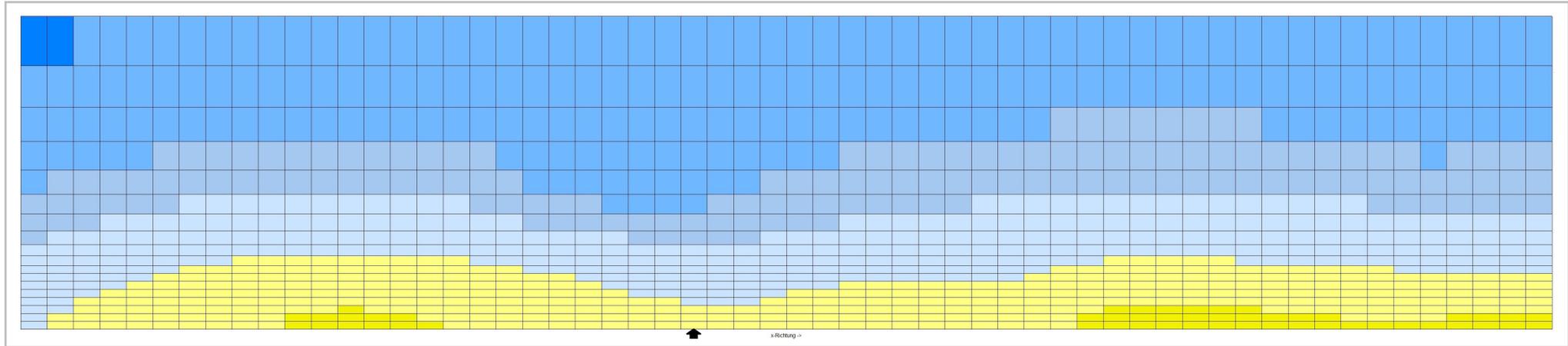
Im Vertikalschnitt sind die Zellen, die Gebäude enthalten grau eingefärbt, Zellen mit Vegetation sind grün eingefärbt. Der Bereich der Fahrbahn ist durch eine schwarze Linie und die Lage der Messstation des LÜN mit einem schwarzen Pfeil gekennzeichnet. Die Zellenbreite in der Horizontalen beträgt 1 m. In der Vertikalen beträgt die Gitterweite bodennah 0,6 m; sie vergrößert sich mit anwachsender Höhe.

Der Vertikalschnitt lässt erkennen, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentration bodennah am größten ist. Dies ist plausibel, da es sich beim Kraftfahrzeugverkehr um Quellen handelt, die bodennah emittieren. Ebenso erkennbar ist auch hier der Gradient, der sich mit steigender Entfernung von der Fahrbahn ausbildet. Das Konzentrationsgefälle wird dabei mit steigendem Abstand von der Fahrbahn geringer.

Der zweite Vertikalschnitt in Abbildung 10 zeigt die Konzentrationsverteilung im Bereich des Gehweges entlang der Gebäudefassade. Dargestellt ist die den Gebäuden dritt-nächst gelegene Gitterreihe, welche einen Abstand von im Mittel 2,5 m von der Fassade aufweist. Die schwarze Pfeilmarkierung kennzeichnet den Punkt im Straßenverlauf, auf dessen Höhe sich die Messstation befindet.

Beim Vertikalschnitt quer zur Straße zeigt sich die höchste NO<sub>2</sub>-Konzentration bodennah. Mit steigender Höhe nehmen die Konzentrationsdifferenzen zwischen den einzelnen Höhenschichten ab.

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



**Abbildung 10:**  $NO_2$ -Konzentrationsverteilung parallel zur straßenbegleitenden Bebauung zwischen Mottenstraße (links) und Lange Straße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 23,5 m



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

	$\geq 60.0$
	$\geq 55.0$
	$\geq 50.0$
	$\geq 47.0$
	$\geq 43.0$
	$\geq 40.0$
	$\geq 37.0$
	$\geq 33.0$
	$\geq 30.0$
	$\geq 25.0$
	$\geq 20.0$
	$\geq 15.0$
	$\geq 10.0$
	$\geq 5.0$



### 5.4 Darstellung der Konzentrationsverhältnisse zwischen Fahrbahn und Bebauungslinie

Für die Auswertung der Konzentrationsverhältnisse zwischen Fahrbahn und Gebäude wurden zwei Horizontalschnitte in unterschiedlichen Höhen angelegt. Zum einen wurde die Ebene der Messhöhe von 1,5 m (Gitterebene von 1,2 bis 1,8 m) betrachtet, zum anderen eine Ebene in 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.

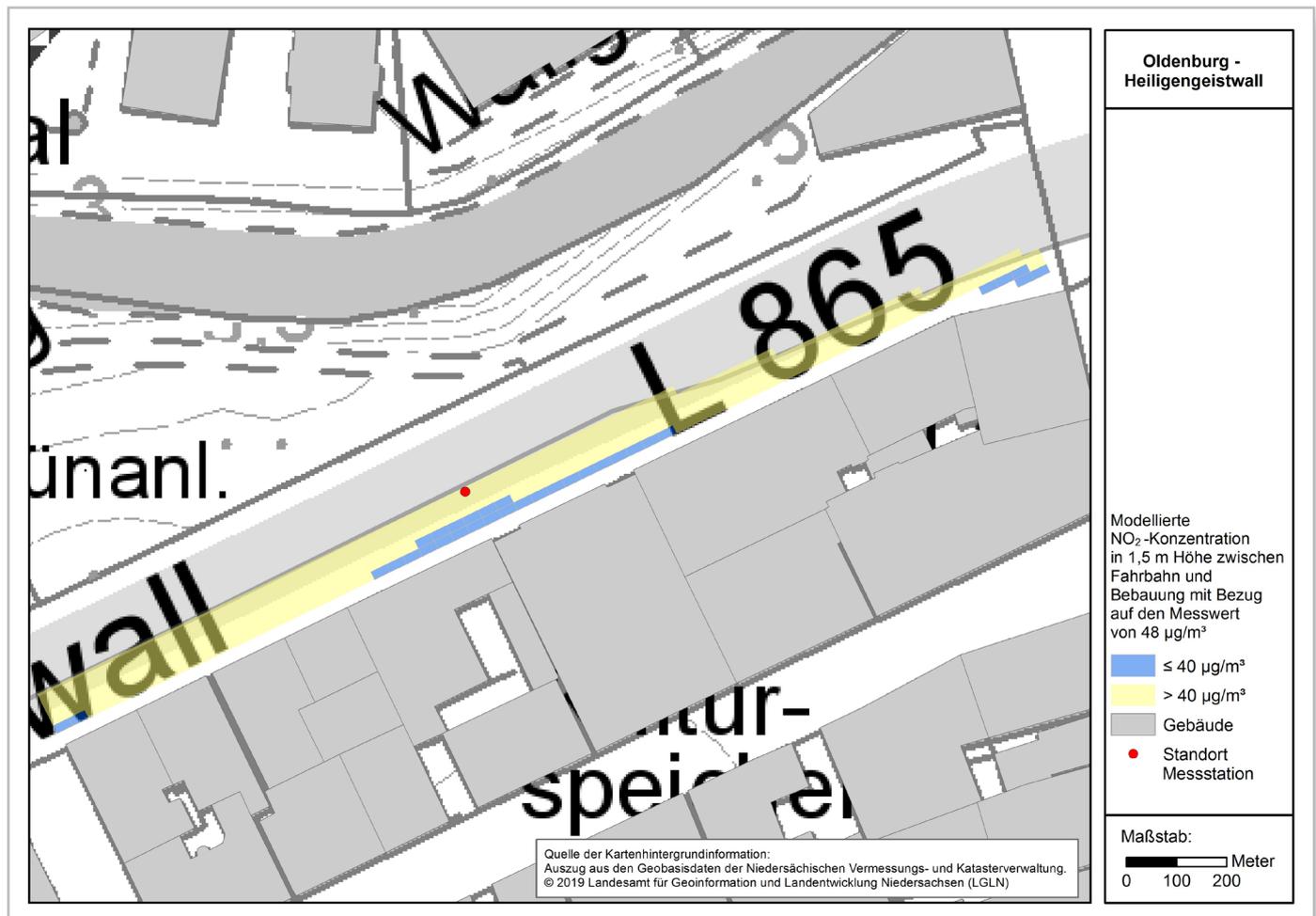
Basis der Auswertung sind aufgrund der Vorgaben der Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 und der Anwendungsgrenzen des Modells (siehe Abschnitt Anwendungsbereich und -grenzen) die Gitterzellen vom Fahrbahnrand bis zur drittletzten Gitterreihe vor dem Gebäude, deren Abstand bis zur Fassade 2,5 m beträgt.

Die Darstellungen basieren auf den modellierten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen und zeigen jeweils zwei Konzentrationsbereiche, einen mit Konzentrationen von bis zu 40 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (blaue Zellen) und einen mit Konzentrationen von mehr als 40 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Diese Form der Darstellung ist dabei auf den

Messwert für NO<sub>2</sub> an der Station Im Heiligengeistwall aus dem Jahr 2018 von 48 µg/m<sup>3</sup> bezogen.

Die Abbildung 11 zeigt den Horizontalschnitt für die Höhe von 1,5 m. Die räumliche Auflösung der Gitterzellen beträgt in der Horizontalen 1 m x 2 m (siehe auch Nr. 4.5.1).

Die Auswertung für die Höhenschicht von 1,5 m zeigt für den Großteil der in der Auswertung berücksichtigten Zellen in der drittletzten Gitterreihe vor den Gebäuden (mittlerer Abstand zur Fassade 2,5 m) NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von mehr als 40 µg/m<sup>3</sup>. Die Tabelle 11 gibt die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten gebäudenächsten (südlichsten) Gitterreihe an, welche insgesamt 62 Zellen bzw. Einzelwerte umfasst. Zum besseren Verständnis sind die modellierten Werte, welche wie in Abschnitt 5.2 dargestellt die Messung unterschätzen, mit einem Zuschlag aus der Differenz aus Messung (48 µg/m<sup>3</sup>) und Modellierung (46 µg/m<sup>3</sup>) versehen. Dieses Vorgehen ermöglicht einen einfacheren Vergleich der modellierten Werte mit dem Jahresgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 11:** Auswertung bezüglich der Überschreitung oder Einhaltung einer NO<sub>2</sub>-Konzentration von 40 µg/m<sup>3</sup> für den Bereich zwischen Fahrbahn und Gebäuden in Höhe von 1,5 m (Messhöhe)

**Tabelle 11:** Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der gebäudenächsten Gitterreihe in 1,5 m Höhe

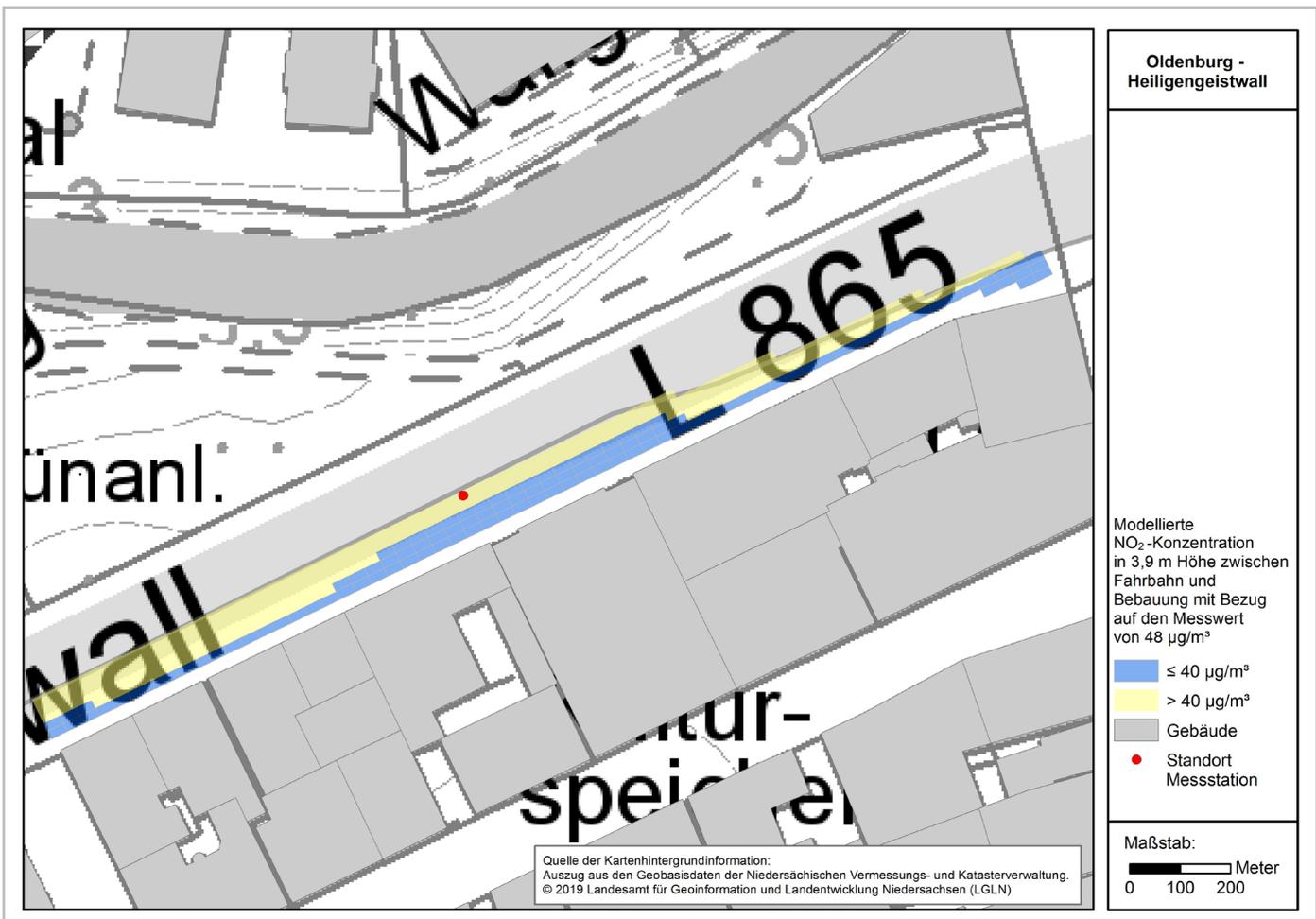
Kenngröße	NO <sub>2</sub> -Konzentration [µg/m <sup>3</sup> ]
Mittelwert	41
Maximalwert	42
Minimalwert	39

Die Abbildung 12 zeigt den Horizontalschnitt für die Höhe von 3,9 m. Die Auswertung für die Höhenschicht von 3,9 m zeigt für die gebäudenächsten Zellen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die kleiner oder gleich 40 µg/m<sup>3</sup> sind. Nur für die der Fahrbahn näher gelegenen Zellen werden NO<sub>2</sub>-Konzentrationen oberhalb von 40 µg/m<sup>3</sup> berechnet. Die nachfolgende Tabelle 12 zeigt analog zur Darstellung in Tabelle 11 die Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der zur Auswertung berücksichtigten gebäudenächsten Gitterreihe, die einen mittleren Abstand von 2,5 m zur Fassade aufweist.

**Tabelle 12:** Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der gebäudenächsten Gitterreihe in 3,9 m Höhe

Kenngröße	NO <sub>2</sub> -Konzentration [µg/m <sup>3</sup> ]
Mittelwert	39
Maximalwert	40
Minimalwert	37

Beide Horizontalschnitte zeigen einen qualitativ vergleichbaren Konzentrationsverlauf entlang des untersuchten Straßenabschnitts. Im Verhältnis niedrige Konzentrationen zeigen sich im mittleren Bereich und jeweils an den Enden des untersuchten Abschnitts. Die mit dem verwendeten Modell berechneten Unterschiede in der NO<sub>2</sub>-Konzentration entlang der Straße sind im Wesentlichen in der Bebauungsstruktur begründet. Das Gebäude im Heiligengeistwall 5 ist mit einer mittleren Höhe von ca. 7 m im Vergleich zur umgebenden Bebauung niedrig. Das benachbarte Gebäude auf Höhe



**Abbildung 12:** Auswertung bezüglich der Überschreitung oder Einhaltung einer NO<sub>2</sub>-Konzentration von 40 µg/m<sup>3</sup> für den Bereich zwischen Fahrbahn und Gebäuden in Höhe von 3,9 m



der Messstation (Heiligengeistwall 3) ist mehr als 10 m höher. Deutlich höher ist mit ca. 14 m auch das benachbarte Gebäude Heiligengeistwall 6. Es ist davon auszugehen, dass dieses niedrige Gebäude im Heiligengeistwall 5 einen maßgeblichen Einfluss auf die in diesem Bereich bessere Durchlüftung des Straßenraums hat. Eine bessere Durchlüftung liegt dazu an den beiden Enden des untersuchten Straßenabschnitts vor, da hier der Bebauungsriegel durch einmündende Straßen (Mottenstraße und Lange Straße) aufgebrochen wird.

Eine weitere Größe, die einen Einfluss auf den Konzentrationsverlauf entlang der Straße haben kann, ist die Emission. Sofern in einem Straßenabschnitt homogene Emissionsverhältnisse vorliegen, z. B. aufgrund einer über die Straßenlänge gleichmäßigen Verkehrssituation, liegt kein entsprechender Effekt vor. Gibt es jedoch Abschnitte im Straßenverlauf in denen Stausituationen auftreten, so ist in diesen Bereichen davon auszugehen, dass es aufgrund von Stop-and-go-Verkehr zu höheren Emissionen kommt, als in Bereichen in denen der Verkehr fließt. Ein Effekt aus der Emission wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, da die zur Verfügung stehenden Informationen zur Verkehrssituation im Heiligengeistwall keine Differenzierung über den Straßenverlauf enthalten. Sofern derartige Effekte in der Praxis jedoch auftreten, ist davon auszugehen, dass die Unterschiede im Konzentrationsverlauf entlang der Straße zunehmen. Dies ist auch im Kontext zu der in Nr. 5.5 folgenden Darstellung der Konzentrationsverhältnisse im Bereich der Gebäude mit Wohnnutzung zu berücksichtigen.

### 5.5 Konzentrationsverteilung im Bereich der Gebäude mit Wohnnutzung

In Nr. 3.2 ist u. a. die Nutzung der Gebäude im Heiligengeistwall beschrieben. Demnach lag zum Zeitpunkt der Erhebung im Erdgeschoss des betrachteten Straßenabschnitts des Heiligengeistwalls keine Wohnnutzung vor. Von einer Wohnnutzung im ersten Obergeschoss ist für die Gebäude im Heiligengeistwall 5, 8 und 9 auszugehen. Die nachfolgende Tabelle 13 zeigt die mittlere NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Höhe von 3,9 m für die zur Auswertung herangezogene gebäudenächste Gitterreihe, die einen mittleren Abstand von 2,5 m zur Fassade aufweist, für die vorgenannten Gebäude. Um einen Vergleich der modellierten Werte mit dem Jahreshgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> zu ermöglichen, sind die dargestellten Werte wie in Tabelle 11 und 12 mit einem Zuschlag aus der Differenz aus Messung (48 µg/m<sup>3</sup>) und Modellierung (46 µg/m<sup>3</sup>) versehen.

**Tabelle 13:** Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der gebäudenächsten Gitterreihe in 3,9 m Höhe für die Gebäude mit Wohnnutzung im ersten Obergeschoss

Kenngröße	NO <sub>2</sub> -Konzentration [µg/m <sup>3</sup> ]		
	Heiligengeistwall 5	Heiligengeistwall 8	Heiligengeistwall 9
Mittelwert	39	40	39
Maximalwert	39	40	39
Minimalwert	38	39	38

Für die Auswertung wurde aufgrund der Anwendungsgrenzen des Modells (siehe Nr. 2.4) die den Gebäuden dritt-nächste Gitterreihe verwendet. 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 für die Auswertung nicht berücksichtigt werden.

### 5.6 Konzentrationsverteilung im fahrbahn-nahen Bereich

Die Messstation des LÜN steht im Heiligengeistwall südlich der Fahrbahn im Bereich der Parkbuchten. Sie liegt im mittleren Bereich des hier untersuchten ca. 125 m langen Straßenabschnitts des Heiligengeistwalls.

Wie in Nr. 5.4 beschrieben, ist über die Länge des Straßenverlaufs eine Veränderung der NO<sub>2</sub>-Konzentration festzustellen. Die Kenngrößen für die Konzentrationsverteilung im fahrbahn-nahen Bereich sind zusammen mit dem modellierten Wert am Ort der Messstation in Tabelle 14 dargestellt. Grundlage der dargestellten Werte sind die Berechnungsergebnisse für die der Fahrbahn nächstgelegene Gitterreihe in 1,5 m Höhe. Um eine Vergleichbarkeit mit den Werten aus den Tabellen 11 bis 13 zu gewährleisten, sind auch hier die Modellwerte mit einem Zuschlag von 2 µg/m<sup>3</sup> für die Differenz zwischen Messung (48 µg/m<sup>3</sup>) und Modellierung (46 µg/m<sup>3</sup>) versehen.

**Tabelle 14:** Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der straßennahen Gitterreihe in 1,5 m Höhe

Kenngröße	NO <sub>2</sub> -Konzentration [µg/m <sup>3</sup> ]
Mittelwert	50
Maximalwert	54
Minimalwert	43
Messstandort	48

Die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen Konzentrationswert ist deutlich größer als im gebäudenahen Bereich. Die für den Ort der Messstation modellierte NO<sub>2</sub>-Konzentration liegt im mittleren Bereich der Konzentrationsspanne und knapp unterhalb des Mittelwertes. Im Rahmen der Unsicherheit der Ermittlungsmethode sind diese Unterschiede aber nicht signifikant. Die LÜN-Station liegt dementsprechend in einem Bereich mit einer für diesen Straßenabschnitt mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentration.

## 6. Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Stickstoffdioxidkonzentration im Umfeld der LÜN-Messstation im Heiligengeistwall in Oldenburg wurden mit dem prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM Berechnungen durchgeführt.

Die Berechnungen geben Aufschluss über die Konzentrationsverteilung für  $\text{NO}_2$  im Heiligengeistwall. Der Vergleich des Modellierungsergebnisses von  $46 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  mit dem Messwert der LÜN-Station von  $48 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  zeigt eine hinreichend gute Übereinstimmung.

In Bezug auf die Konzentrationsverteilung ist festzustellen, dass sich die höchsten Konzentrationen in den bodennahen Schichten 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.

Für die Ermittlung der  $\text{NO}_2$ -Konzentration an der Bebauungslinie wurden in der Untersuchung zwei Höhengschichten (1,5 m und 3,9 m) ausgewertet. Dabei wurde auf die der Bebauung drittnächstgelegene Gitterreihe zurückgegriffen, welche im Mittel in einer Entfernung von 2,5 m zu den Gebäuden liegt. Dieses Vorgehen ist durch die Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 begründet, welche einen Abstand von zwei Gitterpunkten zwischen fester Modellberandung (Boden oder Gebäude) und dem interessierenden Gitterpunkt vorgibt.

Die durchgeführten Berechnungen zeigen für die Höhengschicht von 1,5 m im Abstand von 2,5 m vom Gebäude Konzentrationen oberhalb von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Für die Höhengschicht von 3,9 m werden im gleichen Abstand  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen von maximal  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet.

Hinsichtlich der Nutzungssituation der Gebäude im untersuchten Bereich des Heiligengeistwalls ist entsprechend Nr. 3.2 festzustellen, dass Wohnnutzung nur oberhalb des Erdgeschosses vorliegt. Die Berechnungsergebnisse für die Höhengschicht von 3,9 m zeigen, dass für den Bereich oberhalb des Erdgeschosses keine  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen von mehr als  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet werden. Derartige Konzentrationen werden für den gebäudenahen Bereich nur unterhalb dieses Höhenbereichs berechnet.

Für den fahrbahnnahen und damit quellnahen Bereich zeigen die Modellrechnungen größere Konzentrationsspannen als für den gebäudenahen Bereich. Die LÜN-Station liegt, bezogen auf den Straßenverlauf, in einem Bereich mit einer für diesen Straßenabschnitt mittleren  $\text{NO}_2$ -Konzentration.



## 7. Literaturverzeichnis

- BALCZÓ, Márton; GROMKE, Christof; RUCK, Bodo: 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/NO<sub>2</sub> conversion model under consideration of direct NO<sub>2</sub>-emissions. In: Meteorologische Zeitschrift 20 (2011), 1, S. 67 – 73
- EICHHORN, Joachim: MISKAM, Handbuch zur Version 6. Wackernheim: Giese Eichhorn, 2011
- EICHHORN, Joachim; KNIFFKA, Anke: The numerical flow model MISKAM: State of development an evaluation of the basic version. In: Meteorologische Zeitschrift 19 (2010), 1, S. 81 – 90
- GEWERBEAUF SICHTSAMT (GAA) HILDESHEIM: Modellgestützte Abschätzung der Luftschadstoffbelastung; Oldenburg; 02/2012.
- <http://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/luft/LRP/ol/luftreinhalteplan-oldenburg-96128.html> (23.01.2019)
- GROSS, Günter: Numerical Simulation of Canopy Flows. Berlin: Springer, 1993
- HAGEMEI ER, Marc: Funktionale Kronenarchitektur mitteleuropäischer Baumarten am Beispiel von Hängebirke, Waldkiefer, Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und Rotbuche. Göttingen, Universität, Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften. Diss., 2002
- LAUSCHER, Friedrich: Analysen des Jahresverlaufs der Belaubung von Bäumen und Sträuchern. In: Phytion 28 (1988), 1, S. 91 – 107
- LANGNER, Marcel: Exponierter innerstädtischer Spitzahorn (Acer platanoides) – eine effiziente Senke für PM10? Karlsruhe, Universität, Institut für Geographie und Geoökologie. Diss., 2006
- LARCHER, Walter: Ökophysiologie der Pflanzen. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2001
- LENSCHOW, P.; ABRAHAM, H. J.; KUTZNER, K.; LUTZ, M.; PREUSS, J. D.; REICHENBÄCHER, W.: Some ideas about the sources of PM<sub>10</sub>. Atmospheric Environment 35 (2001), 1, S. 23 – 33
- NEUNHÄUSERER, Lina; DIEGMANN, Volker; GÄSSLER, Günter; PFÄFFLIN, Florian: Stand der Modellierungstechnik zur Prognose der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Luftreinhalteplänen nach der 39. BImSchV. Freiburg: IVU Umwelt, 2011. Forschungsbericht. Forschungskennzahl 363 01 333 im Auftrag des Umweltbundesamtes
- Richtlinie VDI 3782 Blatt 1: Januar 2016. Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle; Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen. Berlin: Beuth
- Richtlinie VDI 3783 Blatt 9: Mai 2017. Umweltmeteorologie; Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle; Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung. Berlin: Beuth
- Richtlinie VDI 3783 Blatt 14: August 2013. Umweltmeteorologie; Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung; Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. Berlin: Beuth
- Richtlinie VDI 3786 Blatt 2: Mai 2018. Umweltmeteorologie; Meteorologische Messungen; Wind. Berlin: Beuth
- Richtlinie 2008/50/EG (in der Fassung vom 21.05.2008)
- RIES, Kai; EICHHORN, Joachim: Simulation of effects of vegetation on the dispersion of pollutants in street canyons. In: Meteorologische Zeitschrift 10 (2001), 4, S. 229 – 233
- ROLOFF, Andreas: Bäume; Lexikon der praktischen Baumbiologie. Weinheim: Wiley-VCH, 2010
- ROMBERG, E.; BÖSINGER, R.; LOHMEYER, A.; RUHNKE, R.; RÖTH, E.: NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 56 (1996), 6, S. 215 – 218
- STROTKÖTTER, Uwe: 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> (23.01.2019)
- WEVERS, C.; FRANKE, J.; HÖFFER, R.: Validierung von CFD-Simulationsprogrammen anhand der VDI Richtlinie 3783. In: Bauingenieur 83 (2008), S. 2 – 5
- ZENGER, Axel: Atmosphärische Ausbreitungsmodellierung, Grundlagen und Praxis. Berlin: Springer, 1998

## 8. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Topographische Karte mit dem Untersuchungsgebiet .....	7
<b>Abbildung 2:</b> Querschnitt des Heiligengeistwalls im Bereich der Messstation des LÜN .....	9
<b>Abbildung 3:</b> Blick in den Heiligengeistwall in Richtung Südwesten von der Einmündung der Heiligengeiststraße .....	9
<b>Abbildung 4:</b> Orthofoto mit dem Straßenzug des Heiligengeistwalls und der Messstation des LÜN .....	10
<b>Abbildung 5:</b> Zuordnung der Hausnummern zu den Gebäuden im Heiligengeistwall und der Langen Straße .....	11
<b>Abbildung 6:</b> Windrichtungsverteilung der DWD Station Oldenburg für den Zeitraum 2001 – 2010 .....	15
<b>Abbildung 7:</b> Zusammensetzung der NO <sub>2</sub> -Immission innerhalb eines Stadtgebietes (vgl. Lenschow et al. 2001, geändert) .....	18
<b>Abbildung 8:</b> NO <sub>2</sub> -Konzentrationsverteilung im zu betrachtenden Straßenabschnitt im Heiligengeistwall in Höhe der Messung (1,5 m) .....	20
<b>Abbildung 9:</b> NO <sub>2</sub> -Konzentrationsverteilung im Straßenquerschnitt des Heiligengeistwalls im Bereich der Messstation über eine Höhe vom 0 bis 23,5 m .....	21
<b>Abbildung 10:</b> NO <sub>2</sub> -Konzentrationsverteilung parallel zur straßen- begleitenden Bebauung zwischen Mottenstraße (links) und Lange Straße (rechts) über eine Höhe von 0 bis 23,5 m .....	22
<b>Abbildung 11:</b> Auswertung bezüglich der Überschreitung oder Einhaltung einer NO <sub>2</sub> -Konzentration von 40 µg/m <sup>3</sup> für den Bereich zwischen Fahrbahn und Gebäuden in Höhe von 1,5 m (Messhöhe) .....	23
<b>Abbildung 12:</b> Auswertung bezüglich der Überschreitung oder Einhaltung einer NO <sub>2</sub> -Konzentration von 40 µg/m <sup>3</sup> für den Bereich zwischen Fahrbahn und Gebäuden in Höhe von 3,9 m .....	24

## 9. Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte im Heiligengeistwall .....	8
<b>Tabelle 2:</b> Nutzungsform der Gebäude im untersuchten Abschnitt des Heiligengeistwalls .....	10
<b>Tabelle 3:</b> Verkehrsdaten für den Heiligengeistwall .....	13
<b>Tabelle 4:</b> Blattflächendichte für Linden im belaubten (LAD <sub>b</sub> ) und unbelaubten Zustand (LAD <sub>0</sub> ) .....	14
<b>Tabelle 5:</b> Kenndaten der DWD-Station Oldenburg .....	14
<b>Tabelle 6:</b> Bodentypen und Rauigkeitslängen nach Eichhorn (2011) .....	16
<b>Tabelle 7:</b> Steuerparameter der Strömungsberechnung .....	16
<b>Tabelle 8:</b> Steuerparameter der Ausbreitungsrechnung .....	17
<b>Tabelle 9:</b> Datenbasis zur Ermittlung der Gesamtbelastung mittels des Chemiemodells nach Düring (2011) .....	19
<b>Tabelle 10:</b> Berechnungs- und Messergebnisse für den Heiligengeistwall .....	19
<b>Tabelle 11:</b> Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der gebäudenächsten Gitterreihe in 1,5 m Höhe .....	24
<b>Tabelle 12:</b> Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der gebäudenächsten Gitterreihe in 3,9 m Höhe .....	24
<b>Tabelle 13:</b> Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der gebäudenächsten Gitterreihe in 3,9 m Höhe für die Gebäude mit Wohnnutzung im ersten Obergeschoss .....	25
<b>Tabelle 14:</b> Kenngrößen der Konzentrationsverteilung in der straßennahen Gitterreihe in 1,5 m Höhe .....	25