



Staatliches
Gewerbeaufsichtsamt
Hildesheim



HErMELiN – Hotspot-Ermittlung und Emissionskataster lagebezogen in Niedersachsen

Gesamtbericht

Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung,
Lärm und Gefahrstoffe – ZUS LLG



Niedersachsen



Herausgeber

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim

Zentrale Unterstützungsstelle – Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe – ZUS LLG
Goslarsche Straße 3, 31134 Hildesheim

Hildesheim, September 2017



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Tabellenverzeichnis | 4 |
| Abbildungsverzeichnis | 4 |
| 1. Zusammenfassung | 6 |
| 2. Einleitung | 7 |
| 3. Das HErmEliN-Projekt | 8 |
| 3.1 Ziele des Projektes und Vorgehensweise | 9 |
| 3.2 Projektverlauf / Chronologie | 10 |
| 4. Gebietsbeschreibung Niedersachsen | 11 |
| 5. Luftschadstoffe | 16 |
| 5.1 Stickstoffoxide (NO _x) | 18 |
| 5.2 Feinstaub (PM ₁₀ und PM _{2,5}) | 18 |
| 5.3 Weitere Luftschadstoffe | 19 |
| 6. Lagebezogenes Emissionskataster | 22 |
| 6.1 Methodik der Emissionsermittlung | 22 |
| 6.2 Unsicherheiten | 27 |
| 6.3 Auswertung der Emissionsdaten | 29 |
| 7. Modellrechnung | 43 |
| 7.1 Meteorologische Daten | 43 |
| 7.2 Rechenmodell, Berechnungsgebiete und Rechengitter | 47 |
| 7.3 Assimilation der Modellergebnisse an Stationsmessdaten | 48 |
| 8. Ergebnisse der Modellrechnung | 49 |
| 8.1 Immissionen auf Basis der HErmEliN-Daten | 49 |
| 8.2 Immissionen ohne anthropogene Emissionsquellen in Niedersachsen | 58 |
| 9. Hotspotermittlung | 62 |
| 9.1 Ermittlung geometrisch-potenzieller Hotspots | 62 |
| 9.2 Ermittlung berechneter Hotspots | 63 |
| 10. Fazit und Ausblick | 67 |
| 11. Literatur | 68 |
| 12. Anhang | 71 |
| 12.1 Messstationen der Lufthygienischen Überwachung Niedersachsen | 71 |
| 12.2 Verteilung der Emissionen der Quellgruppen | 72 |
| Abkürzungsverzeichnis | 84 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Betriebe und Nutztiere | 14 |
| Tabelle 2: Grenz- und Zielwerte für Luftschadstoffe | 17 |
| Tabelle 3: Gütestufen und typische Unsicherheitsbereiche | 27 |
| Tabelle 4: Unsicherheiten der Quellgruppen | 28 |
| Tabelle 5: Gesamtemissionen HErmEliN-Projekt | 29 |
| Tabelle 6: Pro-Kopf-Emissionen Hausbrand | 36 |
| Tabelle 7: Emissionen Schifffahrt | 41 |
| Tabelle 8: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für NO ₂ | 64 |
| Tabelle 9: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für PM ₁₀ | 65 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Schema des Gesamtverfahrens | 9 |
| Abbildung 2: Landkreise und kreisfreie Städte in Niedersachsen | 11 |
| Abbildung 3: Landnutzung | 12 |
| Abbildung 4: Verteilung der Landnutzung | 13 |
| Abbildung 5: Erneuerbare Energien | 15 |
| Abbildung 6: Weg der Luftschadstoffe | 16 |
| Abbildung 7: Schema Industrie | 22 |
| Abbildung 8: Schema Tierhaltungen | 23 |
| Abbildung 9: Schema Hausbrand | 24 |
| Abbildung 10: Schema Straßenverkehr | 24 |
| Abbildung 11: Schema Schienenverkehr | 25 |
| Abbildung 12: Schema Schifffahrt | 25 |
| Abbildung 13: Schema Offroadverkehr | 26 |
| Abbildung 14: Anteile der Quellgruppen an den Emissionen | 30 |
| Abbildung 15: Gesamt-NO _x -Emission | 31 |
| Abbildung 16: Gesamt-PM ₁₀ -Emission | 32 |
| Abbildung 17: Emissionsanteile der Industrie | 33 |
| Abbildung 18: PM ₁₀ -Emission Tierhaltungen auf Landkreisebene | 34 |
| Abbildung 19: Tierarten und NH ₃ -Emissionen | 35 |
| Abbildung 20: NH ₃ -Emission Tierhaltungen auf Landkreisebene | 35 |
| Abbildung 21: NO _x -Emissionen Hausbrand | 37 |
| Abbildung 22: PM ₁₀ -Emissionen Hausbrand | 38 |



| | | | |
|---|----|--|----|
| Abbildung 23: Emissionen und Fahrleistung Straßenverkehr | 39 | Abbildung 45: PM ₁₀ -Immissionen Szenariorechnung | 60 |
| Abbildung 24: Fahrleistungsanteile der Fahrzeugarten Straßenverkehr | 39 | Abbildung 46: O ₃ -Immissionen Szenariorechnung | 61 |
| Abbildung 25: Fahrleistung und Emissionen Straßenverkehr | 40 | Abbildung 47: Profil der Immissionsbelastung | 62 |
| Abbildung 26: Emissionen Schienenverkehr | 40 | Abbildung 48: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für NO ₂ | 63 |
| Abbildung 27: Länge Schienennetz und Emissionen Schienenverkehr .. | 41 | Abbildung 49: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für PM ₁₀ | 66 |
| Abbildung 28: Emissionsanteile Schifffahrtswege Schifffahrt | 41 | Abbildung 50: Messstationen Lufthygienische Überwachung Niedersachsen (LÜN) | 71 |
| Abbildung 29: Transportleistung und Emissionen Schifffahrt | 42 | Abbildung 51: PM ₁₀ -Emissionen Tierhaltung | 72 |
| Abbildung 30: Meteorologische Gebietseinteilung | 44 | Abbildung 52: Emissionsquellen Industrie | 73 |
| Abbildung 31: Windrosen Cluster 1-4 | 45 | Abbildung 53: NO _x -Emissionen Hausbrand | 74 |
| Abbildung 32: Windrosen Cluster 5-8 | 46 | Abbildung 54: PM ₁₀ -Emissionen Hausbrand | 75 |
| Abbildung 33: Gitterstruktur des Ausbreitungsmodells | 48 | Abbildung 55: NO _x -Emissionen Straßenverkehr | 76 |
| Abbildung 34: NO _x -Immissionen | 50 | Abbildung 56: PM ₁₀ -Emissionen Straßenverkehr | 77 |
| Abbildung 35: NO ₂ -Immissionen | 51 | Abbildung 57: NO _x -Emissionen Schienenverkehr | 78 |
| Abbildung 36: PM ₁₀ -Immissionen | 52 | Abbildung 58: PM ₁₀ -Emissionen Schienenverkehr | 79 |
| Abbildung 37: O ₃ -Immissionen | 53 | Abbildung 59: NO _x -Emissionen Schifffahrt | 80 |
| Abbildung 38: Vergleich Immissionen Stadt-Land | 54 | Abbildung 60: PM ₁₀ -Emissionen Schifffahrt | 81 |
| Abbildung 39: NO _x -Immissionen in Stadtgebieten | 55 | Abbildung 61: NO _x -Emissionen Offroadverkehr | 82 |
| Abbildung 40: NO ₂ -Immissionen in Stadtgebieten | 55 | Abbildung 62: PM ₁₀ -Emissionen Offroadverkehr | 83 |
| Abbildung 41: PM ₁₀ -Immissionen in Stadtgebieten | 56 | | |
| Abbildung 42: O ₃ -Immissionen in Stadtgebieten | 57 | | |
| Abbildung 43: NO _x -Immissionen Szenariorechnung | 58 | | |
| Abbildung 44: NO ₂ -Immissionen Szenariorechnung | 59 | | |

1. Zusammenfassung

Mit dem vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz beauftragten und von der Zentralen Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe (ZUS LLG) des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim (GAA Hildesheim) in den Jahren 2013 bis 2017 durchgeführten HErmEliN-Projekt werden mehrere Ziele zur Verbesserung der Grundlagen zur Beurteilung der Luftqualität in Niedersachsen verfolgt. Die Erstellung eines Emissionskatasters für Luftschadstoffe sowie die Berechnung einer hierauf basierenden landesweiten Hintergrundbelastung mithilfe großskaliger Modellrechnungen dienen hierbei als Ausgangsbasis für weitere Berechnungen. Nach der Ermittlung von Orten, die potenziell aufgrund ihrer Lage (z. B. Straßenschluchten mit ungünstigem Straßenbreite-Bebauungshöhe-Verhältnis) anfällig sein können für hohe Luftschadstoffkonzentrationen (geometrisch-potenzielle Hotspots), werden anhand kleinskaliger Modellrechnungen zur Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr die Orte mit den wahrscheinlich höchsten Luftschadstoffbelastungen (Hotspots) berechnet.

Das Hauptaugenmerk liegt im HErmEliN-Projekt auf den Luftschadstoffen Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}). Während bei dem Großteil der weiteren in der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) mit Grenzwerten reglementierten Luftschadstoffe zumeist keine Auffälligkeiten bezüglich der Höhe der Messwerte auftraten, kam es bei diesen beiden Stoffen in der nahen Vergangenheit zu Überschreitungen von Grenzwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Des Weiteren ist das troposphärische Ozon (O_3) als sekundär gebildeter Luftschadstoff aufgrund seiner gesundheitlichen Relevanz und der in zurückliegenden Jahren gemessenen Immissionen Bestandteil des HErmEliN-Projektes.

Das landesweite Emissionskataster für Niedersachsen wird lagebezogen und nach dem bottom-up-Prinzip erstellt. Für die Quellgruppen Industrie, Landwirtschaft, Hausbrand und Verkehr werden die tatsächlichen Einzelquellen in ihrer Lage identifiziert und ihre Emissionen in Qualität (Art der Luftschadstoffe) und Quantität (Emissionsmengen) nach bestimmten Verfahrensweisen auf Jahresbasis zunächst für das gewählte Bezugsjahr 2011 abgeschätzt. Auch weitere von einer Quelle emittierte Stoffe (z. B. SO_2 , NH_3) werden bei Vorliegen von anerkannten und abgesicherten Emissionsfaktoren in ihrer emittierten Masse ermittelt.

Die Emissionen von Stickoxiden ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) sind zu großen Teilen auf die Quellen des Straßenverkehrs ($\approx 50\%$) und der Industrie ($\approx 27\%$) verteilt. Beim Feinstaub (PM_{10}) entstammen die Emissionen zu einem überwiegenden Teil aus der Landwirtschaft ($\approx 56\%$), dem Straßenverkehr ($\approx 18\%$) und der Industrie ($\approx 13\%$). Regional ergeben sich natürlich große Abweichungen von dieser landesweiten Verteilung.

Der starke Einfluss des Straßenverkehrs bildet sich in der Verteilung der NO_x -Emissionen besonders entlang der Hauptverkehrswege (speziell Autobahnen und Schifffahrtsstraßen) ab. Die hohe Dichte von Intensivtierhaltungen im Westen Niedersachsens dagegen führt zu deutlich höheren PM_{10} -Emissionen aus diesem Bereich als in den anderen Landesteilen. Bei beiden Schadstoffen heben sich die dichter besiedelten urbanen Räume aufgrund höherer Emissionen (Hausbrand und Verkehr) zum Teil deutlich von ihrer Umgebung ab.

Die räumlich hoch aufgelösten Informationen des ermittelten Emissionskatasters werden auf das Rechengitter des Chemie-Transport-Modells REM-CALGRID übertragen ($2\text{ km} * 2\text{ km}$ für ganz Niedersachsen und $0,5\text{ km} * 0,5\text{ km}$ für Südniedersachsen). Das Ergebnis der auf Basis der ermittelten Emissionen durchgeführten Ausbreitungsberechnung ist eine mittlere jährliche Verteilung der Immissionskonzentration der Schadstoffe NO_2 und PM_{10} sowie des sekundär gebildeten Schadstoffs O_3 . Für Niedersachsen werden mittlere jährliche Immissionskonzentrationen von $\approx 15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_x , $\approx 11\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 , $\approx 17\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} und $\approx 50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ O_3 ermittelt. Die Schadstoffkonzentrationen verteilen sich mit einem relativ heterogenen Muster über das gesamte Landesgebiet, das sich auch von Schadstoff zu Schadstoff zum Teil deutlich unterscheidet. Gemein haben die Immissionskonzentrationen von NO_2 und PM_{10} , dass die räumlich gemittelten Immissionsbelastungen in den Städten höher sind als in den ländlichen Räumen Niedersachsens (+23 % für NO_2 und +8 % für PM_{10}).

Aus den vom Modell berechneten hochaufgelösten dreidimensionalen meteorologischen Feldern werden zudem acht räumliche Cluster abgeleitet, die Regionen mit vergleichbaren meteorologischen Bedingungen in Niedersachsen repräsentieren. Für alle Cluster wurden jeweils Zeitreihen von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungsklasse erzeugt, die in der darauf folgenden kleinskaligen Modellrechnung zur Ermittlung der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr als Kopplungskoeffizienten zur Identifizierung der potenziellen Schwerpunkte der Luftschadstoffbelastung angewendet werden.

Neben der Hintergrundbelastung und den geometrischen Voraussetzungen eines Straßenabschnitts sind die Verkehrsstärke (DTV-Wert) sowie die mittleren Verkehrszustände (Stauanteile) für die Gesamtbelastung an einem Ort entscheidend. Die Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr wird mit dem Screening-Modell IMMIS^{luft} für alle ermittelten geometrisch-potenziellen Hotspots berechnet. Aufgrund der aktuellen Situation bezüglich der Überschreitungswahrscheinlichkeit von Grenzwerten der 39. BImSchV, beschränkt sich die Betrachtung der Hotspots auf die Stoffe NO_2 und PM_{10} .



2. Einleitung

An den identifizierten geometrisch-potenziellen Hotspots werden die dort auftretenden mittleren jährlichen Zusatzbelastungen durch den Straßenverkehr anhand von kleinskaligen Modellrechnungen mit einem Screening-Modell bestimmt und mit der ermittelten Hintergrundbelastung zur Gesamtbelastung verschnitten. Zusätzlich zu den sieben bekannten und mit Messstationen ausgestatteten Städten in Niedersachsen identifiziert werden, an denen, berechnet für das Bezugsjahr 2011, eine potenzielle Überschreitung des Grenzwerts für den Jahresmittelwert der NO_2 -Konzentration festgestellt wurde. 19 Städte und Gemeinden zeigen eine mögliche Überschreitung der maximalen Überschreitungshäufigkeit des Tagesgrenzwerts für PM_{10} .

Für die ermittelten potenziellen Hotspots für NO_2 und PM_{10} findet eine Validierung der Eingangsdaten und eine Aufbereitung aktueller Emissionsdaten statt. Diese werden herangezogen, um für Städte und Gemeinden mit möglichen Belastungsschwerpunkten weitere Berechnungen durchführen zu können. Die validierten Ergebnisse der Hotspot-Ermittlung können für die Messnetzplanung des LÜN entsprechend den Anforderungen der 39. BImSchV genutzt werden. Im Weiteren ergibt sich durch die systematische und flächendeckende Ermittlung der Luftschadstoffbelastung an den Straßen in Niedersachsen für die Bürgerinnen und Bürger eine verbesserte Erkenntnislage zur vorliegenden Schadstoffbelastung.

Eine gute Luftqualität stellt einen wesentlichen Faktor für gesunde Lebensverhältnisse für den Menschen und seine Umwelt dar. Ein geeignetes Mittel zur Beurteilung der Luftqualität sind die Konzentrationen von Luftschadstoffen. Die Erfassung und Überwachung dieser Konzentrationsmesswerte ist in Deutschland die Aufgabe der Bundesländer. Dies geschieht in erster Linie durch den Betrieb ländereigener Messnetze (z. B. Lufthygienische Überwachung Niedersachsen, LÜN). Die großräumige und kleinräumige Positionierung der Messstationen und die zeitliche Auflösung der Messungen sind in der (39. BImSchV [1]) einheitlich festgelegt. Hiernach sind die mit der Erfassung und Überwachung der Luftqualität beauftragten Bundesländer verpflichtet, an den Orten die Luftqualität zu messen, „an denen die höchsten Werte auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich direkt oder indirekt [...] ausgesetzt sein wird“.

Auch die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt für bestimmte Luftschadstoffe sind in der 39. BImSchV festgelegt. Die nationalen Regelungen sind Umsetzungen der europäischen Vorgaben der Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EG [2]), deren Grenzwerte europaweit verbindlich sind. Werden diese Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht eingehalten, sind durch die zuständige Behörde Luftreinhaltepläne mit Maßnahmen zur Reduktion der Luftschadstoffbelastung zu erstellen.

Mehrere Urteile deutscher Verwaltungsgerichte (z. B. Verwaltungsgericht Hamburg [3]) und des Europäischen Gerichtshofs (EuGH [4]) haben in letzter Zeit die Verpflichtung der Behörden zur effektiven Luftreinhalteplanung zur Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen präzisiert. Auch der Rechtsanspruch eines jeden Bürgers auf gesunde Lebensverhältnisse wird hiermit weiter bekräftigt. Die Luftreinhaltepläne müssen somit geeignete Maßnahmen umfassen, um den Zeitraum der Nichteinhaltung von Grenzwerten so kurz wie möglich zu halten. Zudem wurde klargestellt, dass die Grenzwerte „nicht mehr überschritten werden [dürfen], was einer Ergebnisverpflichtung entspricht“ [4]. Das bedeutet, dass die zuständigen Behörden verpflichtet sind, die erforderlichen geeigneten Maßnahmen im Rahmen des Luftreinhalteplans oder seiner Fortschreibung zur schnellstmöglichen Einhaltung der zulässigen Immissionsgrenzwerte zu treffen. Wie diese Maßnahmen ausgestaltet werden müssen, um für die Erreichung des Ziels der Grenzwerteinhaltung geeignet zu sein, wird dagegen von den Gerichten nicht festgelegt.

Spätestens vor diesem Hintergrund ergibt sich eine zwingende Notwendigkeit für eine detaillierte und flächendeckende Erfassung und Beurteilung der Luftqualität. Dies gilt für den aktuellen Zustand als auch im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen und die Wirksamkeit von Maßnahmen der

3. Das HErmEliN-Projekt

Luftreinhaltepläne zur Belastungsreduktion. Die topographischen Gegebenheiten, die Kenntnis der Emissionsquellen innerhalb und außerhalb des Gebiets sowie die Transmissionspfade der Luftschadstoffe in der Atmosphäre sind als Einflüsse auf die Luftqualität zu berücksichtigen.

Das HErmEliN-Projekt liefert hierbei für das Land Niedersachsen einen entscheidenden Beitrag, indem es die Ermittlung eines räumlich hoch aufgelösten Emissionskatasters für Luftschadstoffe und die Berechnung der Hintergrundbelastung basierend auf diesem Emissionskataster zum Ziel hat. Des Weiteren werden die Standorte mit den wahrscheinlich höchsten Belastungen oder sogar potenziellen Überschreitungen von Grenzwerten (Hotspots) identifiziert, um dem formulierten gesetzlichen Auftrag der 39. BImSchV nachzukommen.

Dieser Gesamtbericht fasst die Arbeiten zum HErmEliN-Projekt zusammen und liefert eine Übersicht der erzielten Ergebnisse sowie einen Ausblick zu weiteren Möglichkeiten der Anwendung der ermittelten Daten und zukünftig geplante Arbeiten. Hierbei werden im Abschnitt 3 der Aufbau des Projektes und dessen Ziele beschrieben. Im Abschnitt 4 wird ein Überblick über die Topographie, die naturräumliche Ausstattung und einige wirtschaftliche Eckdaten Niedersachsens gegeben. Die im Projekt als Schwerpunkt behandelten Luftschadstoffe sowie vorhandene Grenzwerte für deren Immission werden in Abschnitt 5 erläutert.

Einen wesentlichen Teil der Arbeiten dieses Projektes macht die Ermittlung der Emissionen und deren Festschreibung in einem lagebezogenen Emissionskataster aus. Diese Arbeiten werden in Abschnitt 6 für die verschiedenen Quellgruppen erläutert und ausgewertet. Die Grundlagen zur hier genutzten großräumigen dreidimensionalen modellgestützten Ausbreitungsrechnung sind in Abschnitt 7 dargestellt, die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung für die im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionen und ein weiteres Szenario sind in Abschnitt 8 dargelegt. Auf die Methodik der Hotspotermittlung sowie die Ergebnisse mit den Orten höchster Luftschadstoffbelastungen geht Abschnitt 9 ein. Der Bericht endet mit einem Fazit und Ausblick in Abschnitt 10.

Entsprechend der gesetzlichen Vorgaben soll eine Beurteilung der Luftqualität insbesondere an den Orten stattfinden, an denen „die höchsten Werte auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich direkt oder indirekt über einen Zeitraum ausgesetzt sein wird, der im Vergleich zum Mittelungszeitraum der betreffenden Immissionsgrenzwerte signifikant ist“ (39. BImSchV [1]). Diese Orte werden im Folgenden als Hotspots bezeichnet. Um diese Hotspots zu identifizieren bedarf es indes neben der Kenntnis von potenziell für hohe Luftschadstoffkonzentrationen anfälligen Orten auch einer flächendeckenden Erfassung von Konzentrationen verschiedenster Luftschadstoffe.

Um zu flächendeckenden Aussagen der Luftschadstoffbelastung zu kommen, gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren. Zum einen kann auf der Basis eines möglichst dichten Messnetzes mit mathematischen Methoden der Interpolation der Raum zwischen den Messpunkten gefüllt werden. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die flächenhaften Ergebnisse an den Messstellen und in deren näherer Umgebung den gemessenen Werten weitgehend entsprechen. Nachteile sind der hohe zu betreibende Aufwand sowie die Kosten für ein enges Netz an zuverlässigen Messstationen. Gleichfalls entstehen aufgrund des Fehlens von Daten teilweise große Ungenauigkeiten in Gebieten, die räumlich weiter von Messstationen entfernt sind.

Zum anderen können auf der Basis eines räumlichen Emissionskatasters und großräumiger meteorologischer Daten mit Modellen Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden, die flächendeckende Modellergebnisse liefern. So werden die Emissionsstrukturen und die Parameter (z. B. Meteorologie, Topographie), die die Ausbreitung beeinflussen, berücksichtigt. Daher sind die erzielten Ergebnisse für die weiter von Messstationen entfernten Gebiete wesentlich realistischer als die reine zuvor beschriebene mathematische Interpolation. Ferner lassen sich auf Basis von Modellen Szenarien und Prognosen berechnen. Ein Nachteil ist die oft fehlende Möglichkeit zur direkten Nachmessbarkeit der berechneten Ergebnisse.

Um die jeweiligen Vorteile beider Verfahren zu nutzen, besteht ein dritter Ansatz in der Kombination der beiden Verfahren. Das HErmEliN-Projekt verfolgt einen solchen kombinierten Ansatz.



3.1 Ziele des Projektes und Vorgehensweise

Eine Übersicht des gesamten Ablaufs des HErmEliN-Projektes sowie Informationen zur Herkunft der Daten und Ergebnisse ist in Abbildung 1 dargestellt.

Ein Ziel ist die Erstellung eines lagebezogenen Emissionskatasters für Luftschadstoffe in Niedersachsen. Um eine räumliche Information zu der Stärke und Verteilung der Emissionen verschiedener Luftschadstoffe zu erhalten, werden verschiedene Quellgruppen analysiert. Die ermittelte Datenbasis bezieht sich in allen Fällen auf das Gebiet des Bundeslandes Niedersachsen. Für die Emissionen der umliegenden Bundesländer sowie der Nachbarstaaten muss auf vorhandene Daten Anderer zurückgegriffen werden. Alle Emissionsdaten werden für eine Ausbreitungsrechnung in einem Berechnungsmodell (Chemie-Transport-Modell) verwendet.

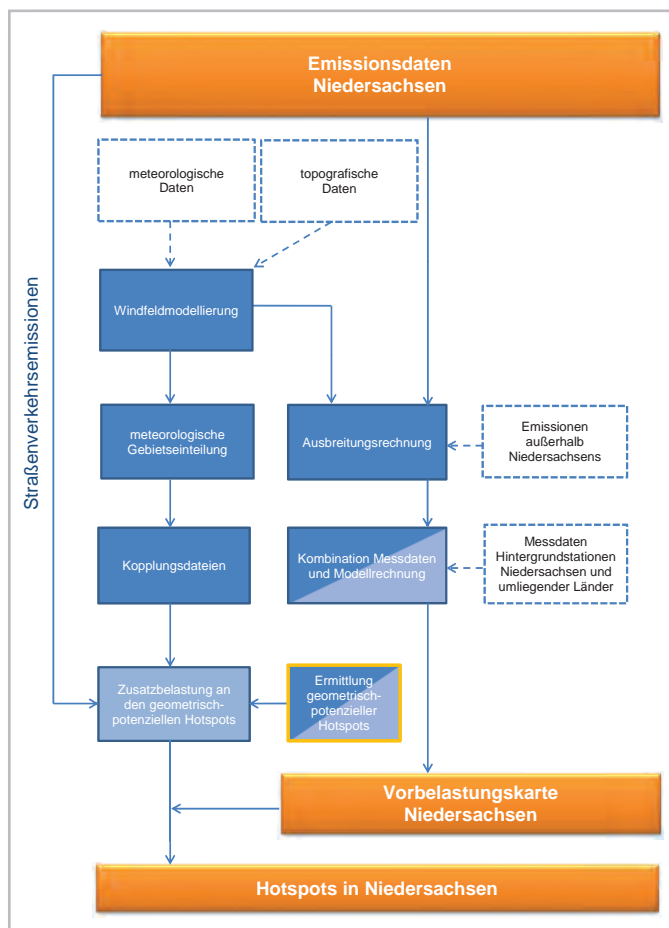


Abbildung 1: Schema des Gesamtverfahrens

Teilschritte des HErmEliN-Projektes; Bearbeitung durch ZUS LLG (hellblau), Bearbeitung durch Dritte (blau), Eingangsdaten Dritter (gestrichelte Kästen), Ergebnisse des HErmEliN-Projektes (orange)

Ein weiteres Ziel des HErmEliN-Projektes ist es, auf der Grundlage einer großräumigen dreidimensionalen Windfeldmodellierung zu räumlich und zeitlich repräsentativen meteorologischen Daten zu kommen. Diese werden gebietsspezifisch noch weiter differenziert, in Kopplungsdateien umgesetzt und dann für eine spätere Ermittlung von Belastungsschwerpunkten eingesetzt. Die Ergebnisse der Windfeldmodellierung dienen zudem dem Chemie-Transport-Modell als Antrieb für die Ausbreitungsrechnung.

Die Ausbreitungsrechnung mit den ermittelten Emissionsdaten in dem Chemie-Transport-Modell dient der Erstellung einer Immissionskarte für Luftschadstoffe. Die räumliche Auflösung richtet sich dabei nach dem Rechengitter des Modells, das für das HErmEliN-Projekt das gesamte Landesgebiet Niedersachsens mit Rasterquadraten mit einer Kantenlänge von 2 km * 2 km hinreichend genau räumlich auflöst.

Für den südlichen Bereich Niedersachsens, wo die Orographie durch ein deutlich stärker ausgeprägtes Relief einen stärkeren Einfluss auf die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen hat, wird zusätzlich ein räumlich feiner aufgelöstes Rechengitter verwendet (0,5 km * 0,5 km).

Nach einer ersten Ausbreitungsrechnung mit den ermittelten Emissionsdaten wird ein Anpassungsverfahren mit den real gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen durchlaufen. Die Kombination dieser beiden Eingangsgrößen zur Immissionskarte erfolgt auf der Grundlage mathematischer Interpolationsverfahren.

Die Daten der hochaufgelösten Gebäudestruktur und des Straßennetzes in Niedersachsen werden eingesetzt um die potenziell für hohe Luftschadstoffkonzentrationen anfälligen Orte, die sogenannten geometrisch-potenziellen Hotspots, zu ermitteln. Hierbei handelt es sich um im Sinne der Luftreinhaltung ungünstige geometrische Situationen wie beispielsweise Straßenschluchten mit einer relativ zur Straßenbreite hohen geschlossenen Randbebauung quer zur Hauptwindrichtung.

Mithilfe der Immissions-Vorbelastungskarten für Luftschadstoffe (Hintergrundkarten), der ermittelten geometrisch-potenziellen Hotspots und der zuvor beschriebenen Kopplungsdateien der Meteorologie werden in einem letzten Schritt anhand von weiteren Modellrechnungen die potenziellen Belastungsschwerpunkte der Luftschadstoffbelastung in Niedersachsen identifiziert.

Das HErmEliN-Projekt wird im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz von der ZUS LLG (Zentrale Unterstützungsstelle für Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe) des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamtes Hildesheim (GAA Hildesheim) durchgeführt.

3.2 Projektverlauf / Chronologie

Das HErmEliN-Projekt startete im Jahr 2013, dem damals ausgerufenen europäischen Jahr der Luft. Folgende Teilprojekte wurden im Rahmen des HErmEliN-Projektes abgearbeitet:

- Meteorologie (Bericht „Meteorologie-Daten für HErmEliN“ vom 26.11.2014 [5]): Ermittlung langjähriger mittlerer meteorologischer Verhältnisse für repräsentative Gebietscluster in Niedersachsen
- Kopplungskoeffizienten (Bericht „Kopplungsdaten im Rahmen von HErmEliN“ vom 17.12.2014 [6]): Entwicklung von meteorologischen Kopplungskonstanten zur Verwendung in der Immissionsberechnung zur Hotspot-Analyse
- Dynamisches Emissionskataster EKatDyn (Bericht „Anwendung von EKatDyn für Niedersachsen“ vom 09.11.2015 [7]): Emissionstechnische Aufbereitung des Nebenstraßennetzes in Niedersachsen
- Methodik der Emissionsdatenermittlung (Bericht vom September 2017 [8]): Entwicklung von Ansätzen zur Bestimmung der Emissionen aller Quellgruppen als bottom-up-Ansatz
- Ausbreitungsrechnung mit ermittelten Emissionsdaten (Bericht vom 24.02.2016 [9]): Ausbreitungsrechnung auf Grundlage der Emissionsdaten und weiterer Einflussfaktoren (Meteorologie, Topographie, etc.)
- FLADIS-Anpassung (Bericht vom 10.10.2016 [10]): Anpassung der Immissionsberechnung mithilfe von Messdaten aus dem Stationsnetz in Niedersachsen
- AutoBuild Abschnittsbildung (Bericht vom 08.11.2016 [11]): Aufbereitung des Straßennetzes in Abschnitte für die Hotspot-Ermittlung und zur weiteren Auswertung
- Hotspot-Ermittlung (Bericht vom September 2017 [12]): Beschreibung der Vorgehensweise zur Ermittlung von Hotspots der Luftschadstoffbelastung sowie der Ergebnisse

Das HErmEliN-Projekt ist mit diesem Bericht abgeschlossen. Die Ergebnisse der Arbeiten sollen jedoch die Grundlage für weitere Arbeiten in Bezug auf das erstellte Emissionskataster und eine laufende Aktualisierung der Immissionshintergrundkarten bilden. Die Ermittlung der Hotspots ist modelltechnisch ebenfalls abgeschlossen. Alle weiteren Schritte zur Identifizierung realer Hotspots anhand von Messungen oder anderer Maßnahmen laufen außerhalb des Projektes weiter.



4. Gebietsbeschreibung Niedersachsen

Das Bundesland Niedersachsen ist mit etwa 47.600 km² Fläche das flächenmäßig zweitgrößte deutsche Bundesland. Es wird begrenzt von den Bundesländern Schleswig-Holstein (SH) und Hamburg (HH) sowie der Nordsee im Norden; den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern (MV), Brandenburg (BB), Sachsen-Anhalt (ST) und Thüringen (TH) im Osten sowie von den Bundesländern Hessen (HE) und Nordrhein-Westfalen (NW) im Süden. Im Westen befindet sich die Grenze zu den Niederlanden (NL; Abbildung 2). Nördlich vor der Nordseeküste im Nationalpark Wattenmeer liegen die sieben ostfriesischen Inseln, die ebenfalls zu Niedersachsen gehören. Das Bundesland Bremen (HB) sowie das dazugehörige Stadtgebiet Bremerhavens liegen innerhalb von Niedersachsen.

Etwa 7,8 Millionen Menschen leben in Niedersachsen (Stand: 01.01.2016). Die Einwohnerdichte von 164 EW/km² liegt in Niedersachsen unter dem bundesweiten Durchschnitt von 227 EW/km². Das Land ist aufgeteilt in 38 Land-

kreise, inklusive der Region Hannover (mit der Landeshauptstadt Hannover) und acht kreisfreie Städte (Braunschweig, Delmenhorst, Emden, Oldenburg, Osnabrück, Salzgitter, Wilhelmshaven und Wolfsburg).

Alle Flüsse, die in ihrem Verlauf auch das Landesgebiet Niedersachsens durchfließen, sind Teile der Einzugsgebiete von Elbe, Ems und Weser, die alle zur Nordsee entwässern. Die größten Flüsse sind Aller, Elbe, Ems, Hunte, Leine und Weser. Sie sind in Teilen auch als Bundeswasserstraßen klassifiziert und so für die Schifffahrt relevant. Hinzu kommen künstliche Wasserwege wie Mittellandkanal, Küstenkanal, Elbseitenkanal, Dortmund-Ems-Kanal und der Ems-Jade-Kanal.

Aufgrund seiner Größe und Ausdehnung bietet Niedersachsen eine große Vielfalt von unterschiedlichen Naturräumen und Landschaften.

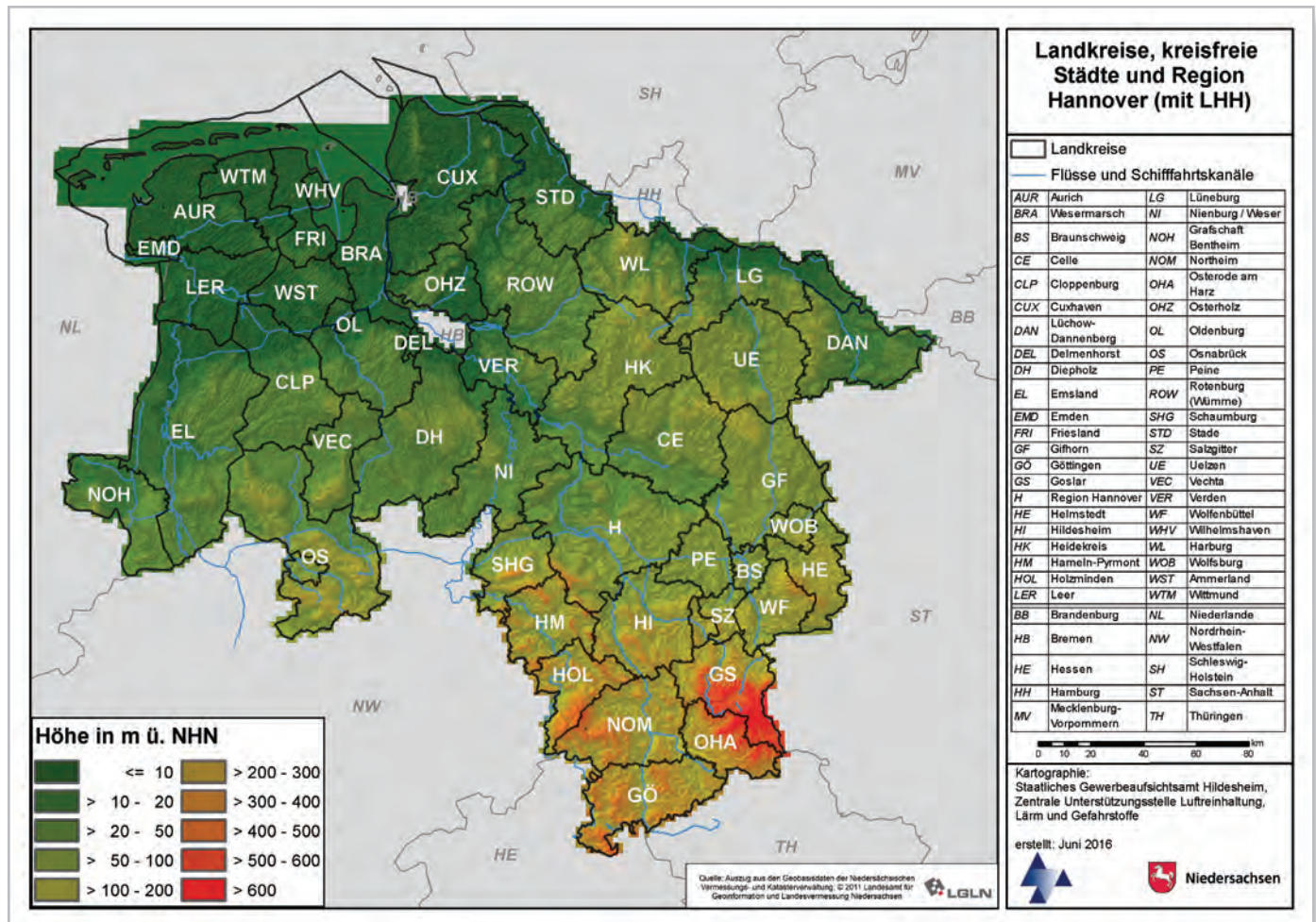


Abbildung 2: Landkreise und kreisfreie Städte in Niedersachsen
Darstellung der 38 Landkreise (inklusive der Region Hannover mit der Landeshauptstadt Hannover (LHH)) und acht kreisfreien Städte in Niedersachsen (Stand 01.01.2016) sowie der Orographie

Auf einer Länge von etwa 200 km bildet die niedersächsische Nordseeküste eine Küstenlandschaft aus Wattenmeer, den vorgelagerten ostfriesischen Inseln und Marschen. Eiszeitliche Moränen und Sanderflächen sind charakteristisch für die südlich nachgelagerte Geest. Auch Hoch- und Niedermoore treten dort als Folge eiszeitlicher Vorgänge gehäuft in Erscheinung. Das Emsland, das Oldenburger Münsterland und der westliche Teil Niedersachsens zählen zur Nordwestdeutschen Tiefebene. Im Nordosten finden sich die ausgedehnten Heidelandschaften der Lüneburger Heide. Im Südosten Niedersachsens schließen sich die Bördelandschaften mit ihren fruchtbaren Lößböden an. Der Süden ist geprägt durch die bewaldeten Höhenzüge des Teutoburger Waldes und des Leine- und Weserberglands. An den Grenzen zu Sachsen-Anhalt und Thüringen befindet sich mit dem Harz das einzige echte Mittelgebirge Norddeutschlands [13].

Flächenmäßig wird Niedersachsen durch die Landwirtschaft dominiert. Dies drückt sich auch in der Landnutzung aus. Fast 60 % der Fläche werden landwirtschaftlich genutzt. Der Waldanteil ist dagegen mit 22 % deutlich niedriger, ebenso die Siedlungs- und Verkehrsfläche mit 14 %. Im Vergleich zu der Verteilung in Deutschland liegt die landwirtschaftlich genutzte Fläche klar über dem Durchschnitt, die Waldfläche in Niedersachsen liegt dagegen unter dem bundesdeutschen Durchschnitt (Abbildung 3).

Regional ergeben sich deutliche Unterschiede in dieser Verteilung. Die Landwirtschaft beansprucht im Westen

und Nordwesten des Landes große Flächen während der Waldanteil noch deutlich unter dem landesweiten Schnitt liegt. Im Süden und Nordosten des Landes ist das Verhältnis eher umgekehrt. Vor allem im Süden (Harz und Weser- und Leinebergland) ist der Anteil der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen, bedingt auch durch eine deutlich andere Orographie, begrenzt. Im Nordosten (Heide) sind es eher die Bodenverhältnisse, die die landwirtschaftliche Nutzbarkeit von Flächen einschränken. Hier, sowie in den südlichen Teilen des Landes, dominieren Waldflächen (Abbildung 4).

Herausragende naturschutzfachliche Bedeutung hat zum einen der Nationalpark „Niedersächsisches Wattenmeer“ entlang der niedersächsischen Nordseeküste. In ihm ist eine Gesamtfläche von knapp 3.450 km² bestehend aus Wasser, Watt sowie Festland und Inseln unter die höchste Schutzkategorie gestellt. Zum anderen liegen auch 158 km² des insgesamt 247 km² Fläche umfassenden Nationalparks „Harz“ auf niedersächsischem Gebiet an der Grenze zu Sachsen-Anhalt. Darüber hinaus wurde entlang der Elbe an der Grenze zu Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern das Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalau“ (etwa 567 km² Fläche in Niedersachsen) als Teil des von der UNESCO anerkannten Biosphärenreservats „Flusslandschaft Elbe“ eingerichtet. Des Weiteren wurden bislang 778 weitere Gebiete mit einer Gesamtfläche von etwa 2.020 km² als Naturschutzgebiete ausgewiesen, von denen die Lüneburger Heide im Nordosten Niedersachsens mit etwa 234 km² das größte zusammenhängende Gebiet ist [16].

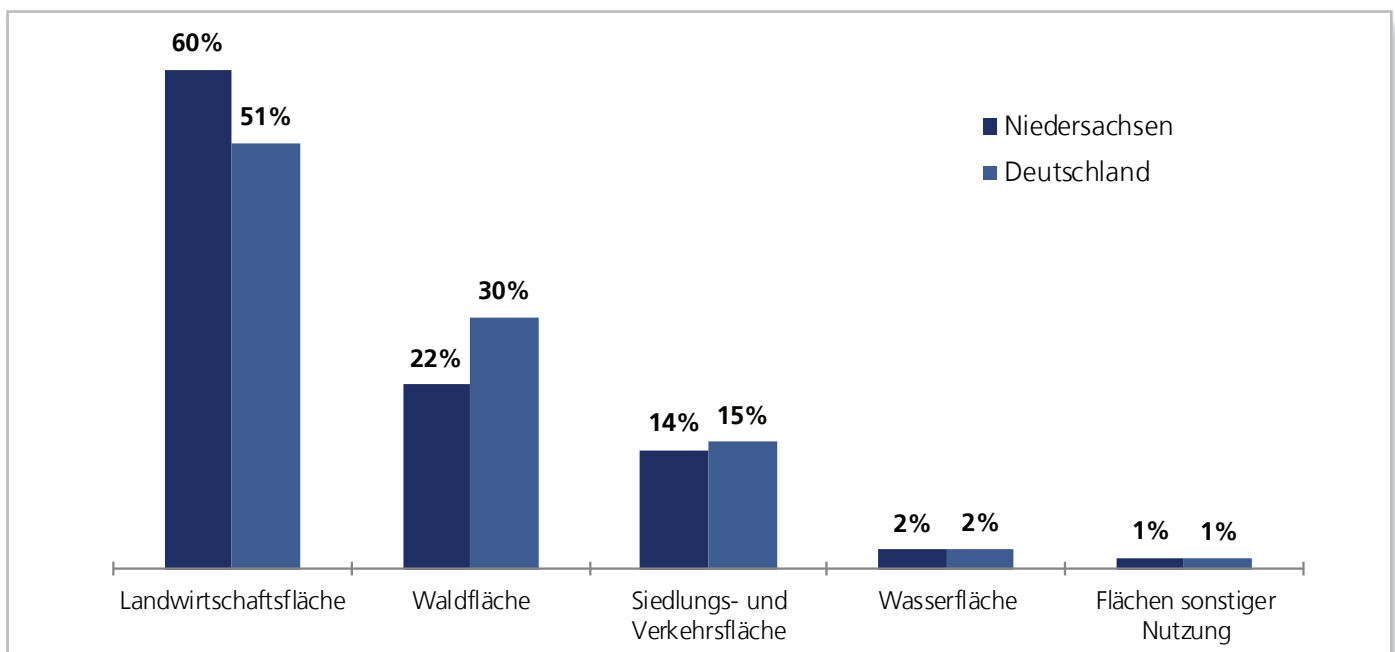


Abbildung 3: Landnutzung
 Prozentuale Anteile der Flächennutzungen an der jeweiligen Landesfläche (Stand 31.12.2014) in Niedersachsen (dunkelblau) und Deutschland (blau; [14])

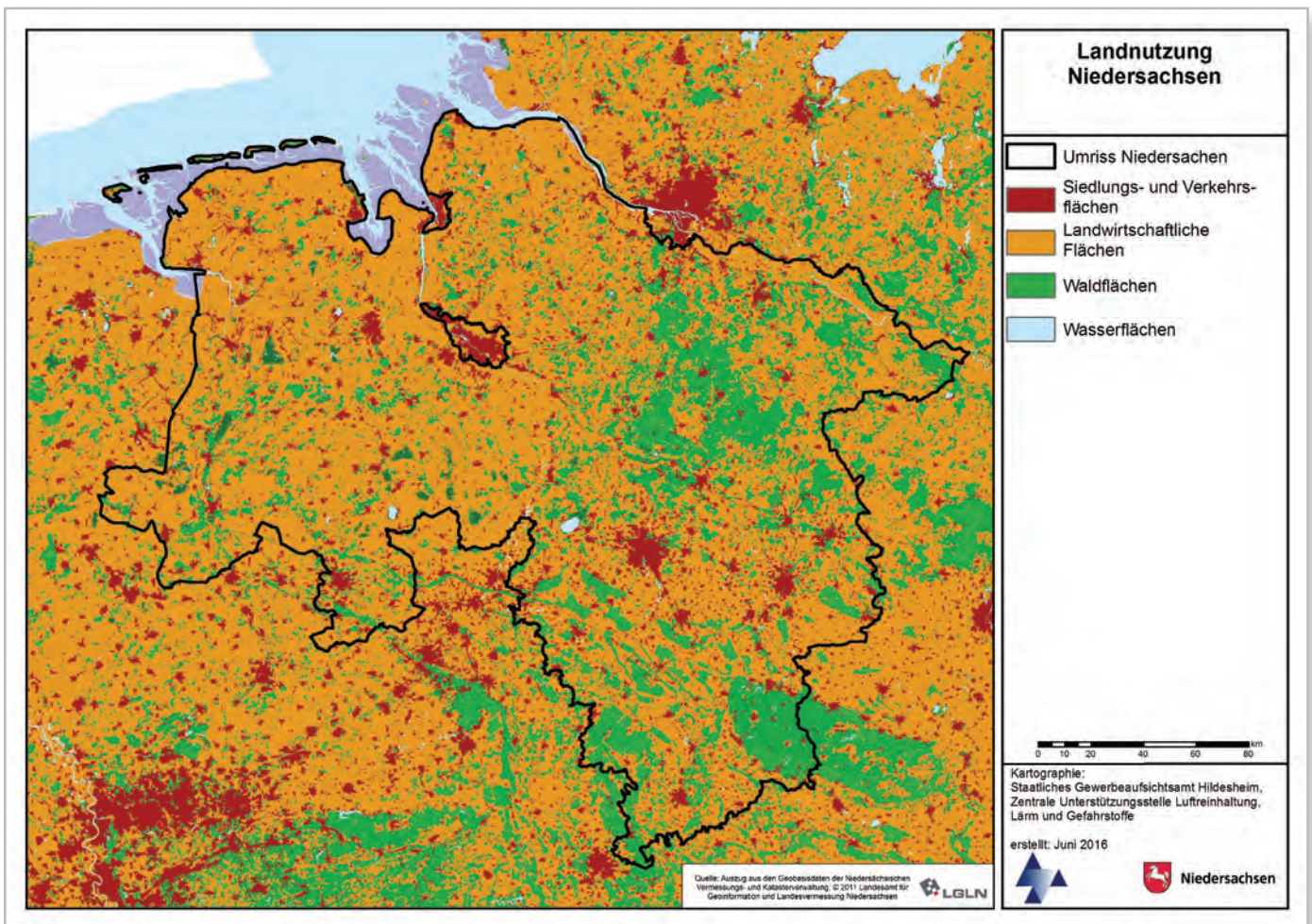


Abbildung 4: Verteilung der Landnutzung

Räumliche Verteilung der Landnutzungsklassen Siedlungs- und Verkehrsflächen (rot), landwirtschaftliche Flächen (orange), Waldflächen (grün) und Wasserflächen (hellblau) in Niedersachsen, aggregiert aus Landnutzungsklassen des CLC2006-Datensatzes [15]

Besonders hohe Verkehrszahlen werden auf den Bundesautobahnen A1, A2, A7, A27, A30 und A31 registriert, die zum Teil auch als Transitstrecken (v. a. des Güterverkehrs) genutzt werden. Auch auf einigen Bundesstraßen, die wichtige regionale Verbindungswege darstellen, sind z. T. hohe Verkehrszahlen zu finden. Zudem existiert für den öffentlichen Personenverkehr und auch den Güterverkehr eine Vielzahl von unterschiedlich stark frequentierten Bahntrassen im Land. Für den schienengebundenen Güterverkehr spielen in erster Linie die Verbindungen von den Seehäfen ins Hinterland eine wichtige Rolle.

Insgesamt wurde im Jahr 2014 in Niedersachsen ein Bruttoinlandsprodukt von etwa 254 Milliarden € erwirtschaftet, was etwa 9 % der gesamtdeutschen Wirtschaftsleistung entspricht. Hierzu trugen circa 3,8 Millionen Erwerbstätige bei. 2,8 % dieser Menschen arbeiteten in der Land- und

Forstwirtschaft sowie der Fischerei, 23,8 % im produzierenden Gewerbe und 73,4 % im Dienstleistungssektor [17].

Niedersachsen gehört zu den bedeutendsten Standorten für die Landwirtschaft in Deutschland. Sie beansprucht zum Teil große Flächenanteile (Abbildung 3 und Abbildung 4) und prägt entscheidend das Landschaftsbild. Sie bildet ferner die Basis vor- und nachgelagerter Prozesse wie z. B. der Ernährungsindustrie. Vor allem im Westen des Landes (speziell im Oldenburger Münsterland) ist eine hochproduktive Agrarindustrie (Tierhaltung) entstanden, mit allen Vor- und Nachteilen, die eine solche Industrie mit sich bringen kann. Wirtschaftliche Vorteile stehen umwelt- und naturschutzfachlichen Problemen gegenüber. So werden beispielsweise mehr als die Hälfte des in Deutschland gehaltenen Geflügels sowie etwa ein Drittel der Schweine in Niedersachsen gehalten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Betriebe und Nutztiere

Anzahl der Tierhaltungsbetriebe und Nutztiere nach Tierart in Niedersachsen und Deutschland sowie Anteil der Tiere in Niedersachsen am deutschen Gesamtbestand Quelle: 18 (Stand März 2013)

| Tierart | Anzahl Betriebe in Niedersachsen | Anzahl Tiere in Niedersachsen | Anzahl Tiere in Deutschland | proz. Anteil Tiere in Niedersachsen |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Rinder | 19.000 | 2.572.600 | 12.370.700 | 21 |
| Schweine | 9.100 | 9.238.500 | 28.697.400 | 32 |
| Hühner | 6.100 | 88.585.100 | 160.773.500 | 55 |
| sonst. Geflügel * ¹ | 1.400 | 7.924.100 | 16.559.600 | 48 |
| Schafe | 2.200 | 18.500 | 1.893.300 | 1 |
| Ziegen | 900 | 7.600 | 130.200 | 6 |
| Einhufer | 7.300 | 66.200 | 461.300 | 14 |

*¹ Gänse, Enten und Truthühner

Niedersachsen ist ein sehr rohstoffreiches Land, in dem neben Erdöl und Erdgas, Kali und Salz auch Mergel, Gips, Sand und Kies, Braunkohle und Torf abgebaut werden. Die Rohstoffe bilden die Grundlage zahlreicher industrieller Produkte. Ein Schwerpunkt der industriellen Produktion in Niedersachsen liegt allerdings in der Automobilindustrie (besonders im Raum Hannover – Braunschweig – Wolfsburg) und bei den damit eng verknüpften Zulieferbetrieben [19].

Der in Niedersachsen produzierte Strom wurde im Jahr 2012 zu etwa 33 % durch die Kernenergie erzeugt. Braun- und Steinkohle lieferten einen Beitrag von insgesamt etwa 20 %, aus der Verbrennung von Erdgas entstammten etwa 9 % des eingespeisten Stroms. Rund ein Drittel des in Niedersachsen produzierten Stroms (knapp 34 %) wurde aus erneuerbaren Energien erzeugt. Der Anteil liegt damit deutlich über dem bundesweiten Anteil im Jahr 2012 von etwa 24 % [20].

Erzeugt wird der Strom aus erneuerbaren Energien vor allem von den an Land installierten Windkraftanlagen (etwa 53 % des im Jahr 2014 eingespeisten Stroms aus erneuerbaren Energien), von Anlagen zur Verwertung von Bio-

masse (etwa 35 %) und von Photovoltaikanlagen (etwa 11 %). Besonders im Westen (z. B. Landkreise Emsland und Cloppenburg) und Nordwesten (z. B. Landkreise Aurich und Cuxhaven) des Landes wird viel Strom aus erneuerbaren Energiequellen produziert und eingespeist. Im Vergleich dazu wird im Süden des Landes deutlich weniger produziert und eingespeist. Diese räumliche Ungleichheit wird noch verstärkt, wenn man die durch den Zubau von Anlagen weiter zunehmende Einspeisung von Strom aus der Offshore-Windkraft aus der Nordsee vor Niedersachsens Küste hinzurechnet (etwa 1.250 GWh; [21]).

Die regionale Verteilung der Anteile der genutzten erneuerbaren Energieträger in Niedersachsen ist dabei durchaus unterschiedlich (Abbildung 5). Während die Windkraft besonders an der Nordseeküste sehr hohe Anteile aufweist, zeigt auch die Stromerzeugung aus Biomasse in Niedersachsen z. T. hohe Anteile. In manchen Landkreisen (z. B. Rotenburg (Wümme), Celle, Hildesheim) hat die Biomasse sogar Anteile von über 50 % an dem aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom.

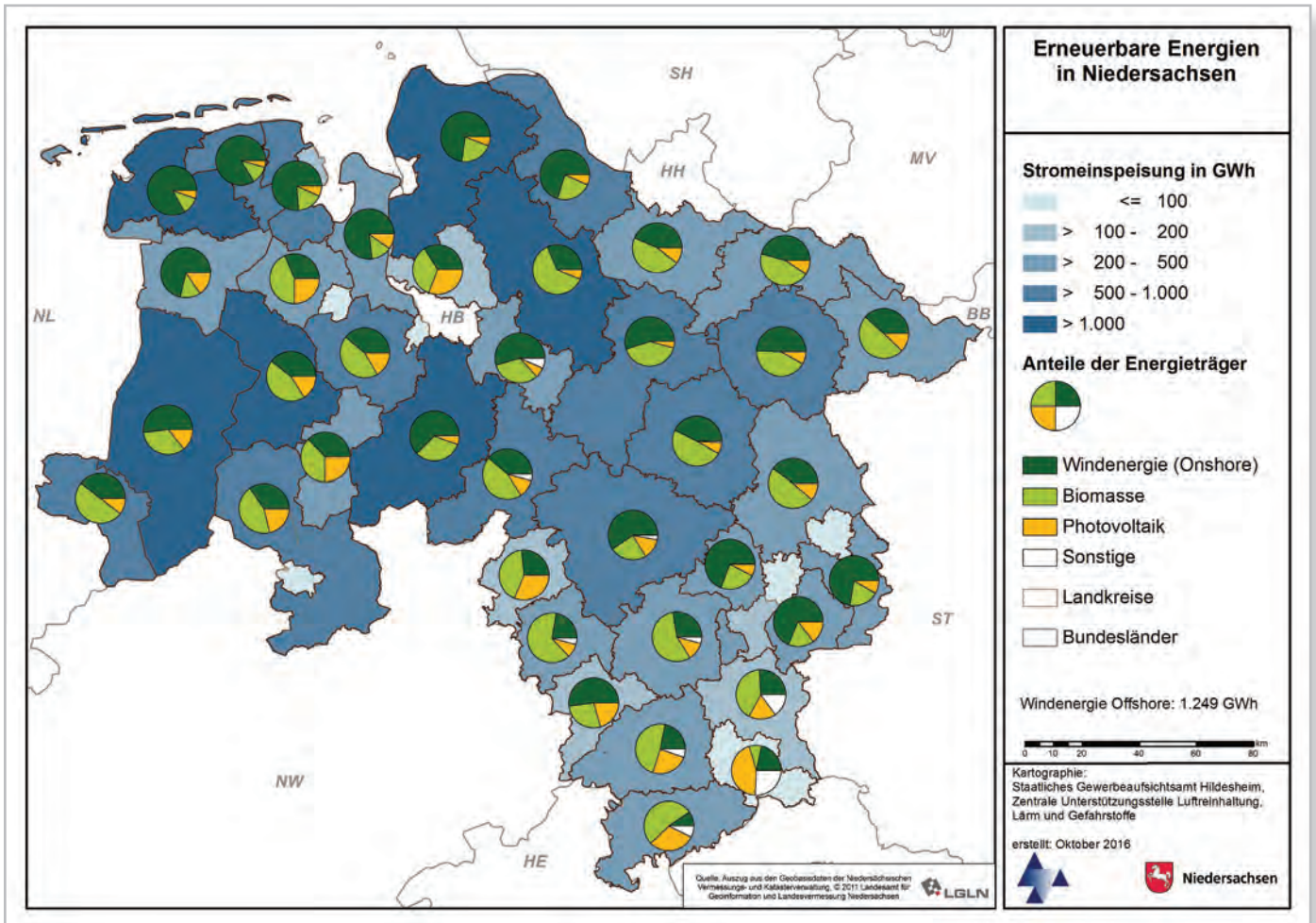


Abbildung 5: Erneuerbare Energien

Menge der Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien und Anteile der Energieträger erneuerbarer Energien an der Stromeinspeisung auf Basis der Landkreise in Niedersachsen für das Bezugsjahr 2014 [20]; die Stromerzeugung durch Offshore-Windenergieanlagen vor der niedersächsischen Nordseeküste liegt im Bezugsjahr 2014 bei 1.249 GWh [21]

5. Luftschadstoffe

Ein Schadstoff ist definitionsgemäß jeder in der Luft vorhandene Stoff, der schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt insgesamt haben kann [22]. Die Quellen für luftgetragene Schadstoffe, ob natürliche Quellen oder vom Menschen verursacht, sind dabei nicht relevant. Der Großteil der Luftschadstoffe entstammt allerdings anthropogenen Emissionsquellen. Um diese Emissionen zu begrenzen, existieren in Deutschland entsprechende Regelungen (z. B. 13. BImSchV [23] oder Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft [24])). Diese richten sich in erster Linie an industrielle und gewerbliche Quellen. Aber auch kleine und mittlere Feuerungsanlagen sowie der Fahrzeugverkehr (Schiene, Straße, Luftverkehr) sind Regelungen zur Freisetzung von Emissionen unterworfen, die heutzutage zumeist Vorgaben der Europäischen Union entstammen und mithin in der gesamten Union Gültigkeit haben.

Die Immission eines Schadstoffes ist das Ergebnis von Emission und Transport dieser emittierten Stoffe mit der Luftströmung (Transmission; Abbildung 6). Auf diesem Weg können die Schadstoffe durch chemische und physikalische Reaktionen in ihrer Zusammensetzung verändert werden. Daher werden durch die Umsetzung der EU-Richtlinie 2008/50/EG [2] in der 39. BImSchV [1] bundeseinheitliche Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht nur für die Immission der im Wesentlichen primär emittierten Luftschadstoffe gesetzt. Auch sekundär während der Transmission gebildete Stoffe sind berücksichtigt (z. B. Ozon (O₃); Tabelle 2). Die jeweilige Höhe des Grenzwerts basiert auf wissenschaftlichen Untersuchungen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung der jeweiligen Luftschadstoffe auf die menschliche Gesundheit sowie weiteren, die politische Grenzwertsetzung beeinflussenden Faktoren.

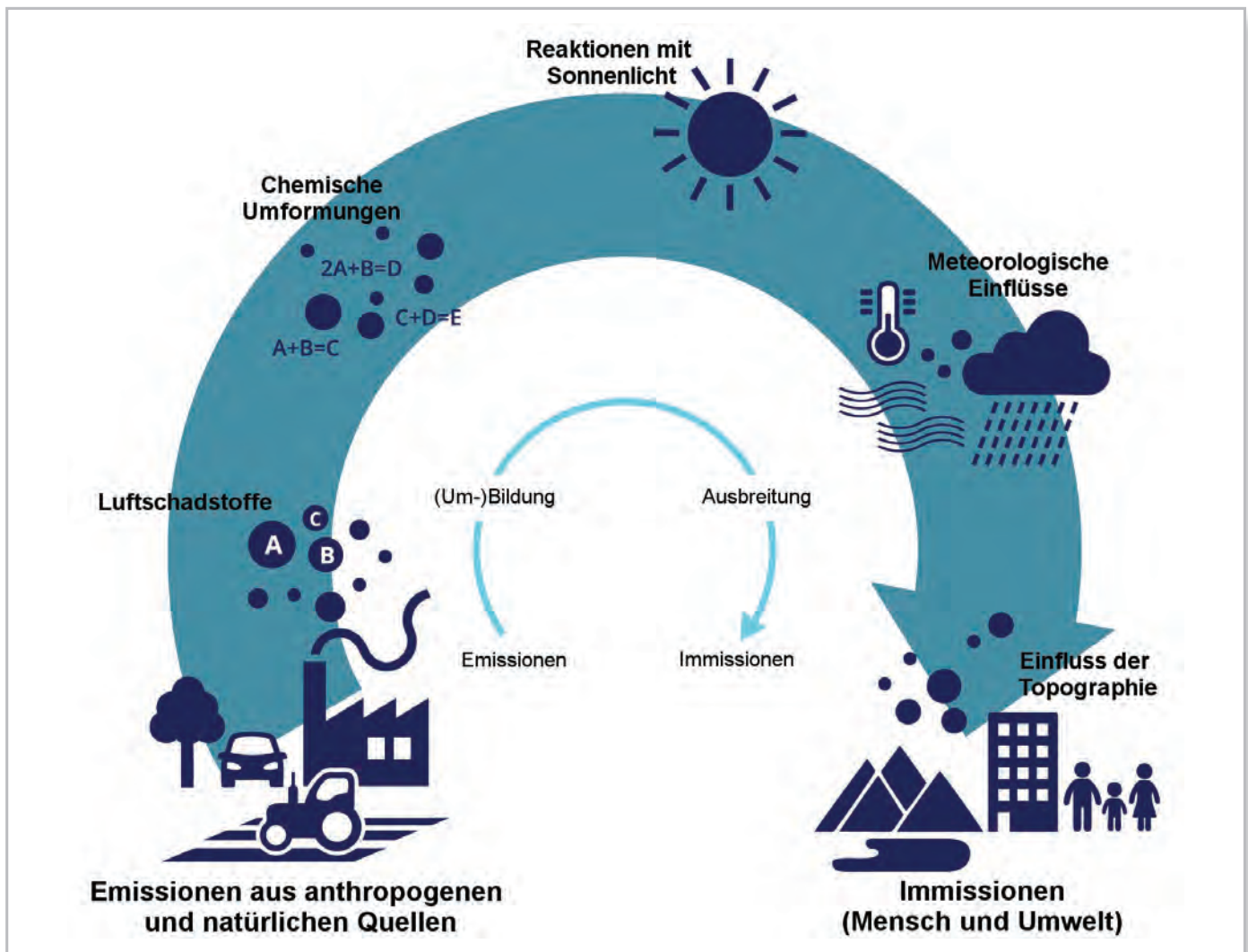


Abbildung 6: Weg der Luftschadstoffe
 Schematisierte Darstellung von Emission, Transmission mit möglichen ablaufenden atmosphärischen Prozessen der chemischen und physikalischen Einwirkung auf einen Stoff und Immission von Luftschadstoffen (verändert nach [25])

**Tabelle 2: Grenz- und Zielwerte für Luftschadstoffe**

Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit der 39. BImSchV [1] für die Immissionen der luftgetragenen Schadstoffe NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, C_6H_6 , CO und SO_2 sowie Zielwert für O_3

| Schadstoff | Schutzgut | Kategorie | Wert | Zulässige Überschreitungen | Mittelungszeitraum | einzuhalten ab ^{*2} |
|------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------|---|-------------------------|------------------------------|
| Stickstoffdioxid (NO_2) | Mensch | Grenzwert | 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 18 pro Jahr | 1 Stunde | 2010 |
| | | | 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - | 1 Jahr | 2010 |
| Feinstaub PM_{10} | Mensch | Grenzwert | 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 35 pro Jahr | 24 Stunden | 2005 |
| | | | 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - | 1 Jahr | 2005 |
| Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$ | Mensch | Grenzwert | 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - | 1 Jahr | 2015 |
| Benzol (C_6H_6) | Mensch | Grenzwert | 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | - | 1 Jahr | 2005 |
| Kohlenmonoxid (CO) | Mensch | Grenzwert | 10 mg/m^3 | - | 8 Stunden ^{*1} | 2005 |
| Schwefeldioxid (SO_2) | Mensch | Grenzwert | 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 24 pro Jahr | 1 Stunde | 2005 |
| | | | 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 3 pro Jahr | 24 Stunden | 2005 |
| Ozon (O_3) | Mensch | Zielwert | 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 25 pro Jahr (gemittelt über die letzten 3 Jahre) | 8 Stunden ^{*1} | 2010 |

^{*1}: höchster gleitender 8-Stunden-Mittelwert eines Tages
^{*2}: zuvor addierten sich sog. Toleranzmargen auf die Grenzwerte

5.1 Stickstoffoxide (NO_x)

Als Stickstoffoxide oder kurz Stickoxide (NO_x), wird im Bereich der Luftreinhaltung die Summe der Stickstoffverbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) bezeichnet. Bei jeglicher Art von Verbrennungsprozess entstehen Stickstoffoxide. Einerseits wird bei hohen Verbrennungstemperaturen der in der Luft vorhandene Stickstoff oxidiert (Reaktion mit dem Luftsauerstoff). Andererseits können auch organische Stickstoffverbindungen des Brennstoffs oxidiert werden. Als relevante Quellen für Stickoxide sind daher anthropogene Verbrennungsprozesse zu nennen, wie sie in Anlagen zur Energie- und Wärmeerzeugung, in anderen industriellen Prozessen oder auch im Straßenverkehr ablaufen. Biogene Quellen sind z. B. mikrobiologische Prozesse im Boden oder Blitze.

In den meisten Fällen kommt es zur Emission von NO, welches dann mit dem Luftsauerstoff schnell zu NO₂ oxidiert. Allerdings sind vor allem bei den Emissionen des Straßenverkehrs (Dieselfahrzeuge) auch vermehrt direkte Emissionen von NO₂ nachweisbar. Das NO₂ oxidiert in der Atmosphäre langsam weiter zu Nitrat-Ion (NO₃⁻). In dieser Form kann es zur sekundären Partikelbildung beitragen oder durch die Anlagerung an Aerosole für deren Anwachsen sorgen. Auch die Auswaschung aus der Atmosphäre und die Deposition im Boden ist über diesen Weg möglich.

Stickstoffdioxid (NO₂) übt eine Reizwirkung auf die Augenschleimhäute und die Schleimhäute des Atemtraktes aus. Es kann in höheren Konzentrationen vorübergehend Husten, Atemnot, Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindelgefühl oder Müdigkeit hervorrufen, die über Stunden bis mehrere Tage anhalten können. Bei längerfristiger Exposition gegenüber NO₂ konnten chronische Störungen der Lungenfunktion beobachtet werden [26].

Im Vergleich zu NO₂ ist die Toxizität von reinem Stickstoffmonoxid (NO) lediglich gering.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden ein Kurzzeit- und ein Langzeitgrenzwert als maximale Immissionskonzentration in der 39. BImSchV festgelegt. Der Kurzzeitgrenzwert bezieht sich auf die maximale stündliche Konzentration, die nicht öfter als 18-mal in einem Kalenderjahr über 200 µg/m³ liegen darf. Der Langzeitgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit bezieht sich auf den Jahresmittelwert, der nicht über 40 µg/m³ liegen darf. Einzuhalten sind diese Grenzwerte seit dem Jahr 2010 (Tabelle 2).

5.2 Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5})

Staubpartikel sind die festen Bestandteile des Multikomponenten- und Multiphasensystems Atmosphäre, das sich aus Gasen, Flüssigkeitströpfchen und festen Stoffen zusammensetzt. Stäube können auf verschiedene Arten entstehen und in die Luft emittiert werden. Bei unvollständigen Verbrennungsprozessen können beispielsweise Rußpartikel emittiert werden. Beim Umschlag staubender Güter kommt es zur Emission von Staub. Auch Pflanzenpollen, weitere Pflanzenteile oder auch Sandkörner und Meersalz werden mit dem Wind als Feinstaub verfrachtet. Aus Vorläuferstoffen können sich aber auch Partikel aus der Gasphase bilden, die sich dann durch weitere Anlagerungen auch vergrößern können.

Die Verweildauer von luftgetragendem Staub in der Atmosphäre ist vor allem von der Größe der Staubpartikel abhängig. Ebenso hängt die gesundheitliche Relevanz für den Menschen u.a. von der Größe der Staubpartikel ab. Partikel der Größenklasse PM₁₀ sind kleiner als 10 µm (1 µm = 10⁻⁶m). „PM“ ist hierbei die Abkürzung für „particulate matter“; der Index 10 bezieht sich auf den Partikeldurchmesser. In eine Größenklasse fallen dabei alle Partikel, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist (2008/50/EG). Die Größengrenze einer Klasse von Partikel stellt somit keine absolute Grenze dar. Die Partikel der Größenklasse PM₁₀ können im menschlichen Körper über die Atemwege bis in den oberen Bereich der Lunge gelangen (thorakaler Schwebstaub). Partikel der Größenklasse PM_{2,5} sind kleiner als 2,5 µm. Sie können im menschlichen Körper tief in die Atemwege bis zu den Bronchiolen der Lunge eindringen (alveolengängiger Schwebstaub).

Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen (z. B. [27,28]) zeigen, dass es bei kurzfristiger, starker Belastung durch Feinstaub zu einem Anstieg der Krankenhausaufnahmen und vermehrten Arztbesuchen insbesondere wegen Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen kommen kann und die Sterblichkeit in diesen Erkrankungsgruppen zunimmt. Eine weniger hohe, langfristige Belastung wird gleichfalls mit einer Zunahme an Atemwegserkrankungen und einem Anstieg der Sterblichkeit an Herz-Kreislauf-erkrankungen in Verbindung gebracht. Insgesamt kann dabei der Verlust an Lebenserwartung in der Bevölkerung die Größenordnung eines Jahres erreichen [29].



Zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden, wie auch bei NO_2 , ein Kurzzeit- und ein Langzeitgrenzwert als maximale Immissionskonzentration in der 39. BImSchV festgelegt. Der Kurzzeitgrenzwert bezieht sich hierbei auf den Tagesmittelwert, der nicht öfter als 35-mal in einem Kalenderjahr über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen darf. Der Langzeitgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit bezieht sich auf den Jahresmittelwert, der nicht über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen darf. Einzuhalten sind diese Grenzwerte seit dem Jahr 2005 (Tabelle 2).

Partikel der Größenklasse zwischen $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} bilden den wesentlichen massenbezogenen Anteil des in der Luft vorhandenen Feinstaubes. Zudem sind die genannten gesundheitlichen Wirkungen über die Partikelmasse definiert, weshalb über diese Partikelmasse auch eine Reglementierung stattfinden kann. Kleinere Größenklassen (PM_1 , ultrafeine Partikel (UFP)) treten hingegen in einer wesentlich höheren Partikelanzahl auf. Auch für die Partikelanzahl existieren Untersuchungen zur gesundheitlichen Relevanz. Es liegt bisher jedoch keine ableitbare Metrik zur Begrenzung der Partikelanzahl vor.

5.3 Weitere Luftschadstoffe

Derzeit sind es vor allem Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub der Größenklasse PM_{10} die deutschlandweit für Überschreitungen der Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit der 39. BImSchV sorgen. Zusätzlich sind die Immissionen weiterer Stoffe in dieser Verordnung mit Grenzwerten belegt. Dessen ungeachtet existieren ebenso Stoffe, die an der Bildung von sekundären Luftschadstoffen beteiligt sind. Neben den bereits beschriebenen beiden Luftschadstoffen werden daher noch zusätzliche Stoffe in der Ermittlung der Emissionen in Niedersachsen berücksichtigt, die teilweise zu einem relevanten Anteil aus anthropogenen Emissionen entstammen.

5.3.1 Ammoniak (NH_3)

Luftgetragenes Ammoniak (NH_3) trägt wesentlich zur Versauerung und Eutrophierung von natürlichen und naturnahen Ökosystemen bei. Dabei ist es der einzige in höheren Konzentrationen vorkommende basische Bestandteil der Atmosphäre. Die Hauptquelle für NH_3 in der Außenluft ist die Landwirtschaft, insbesondere die Tierhaltung. In unmittelbarer Nähe von großen Tierhaltungsanlagen kann sich aus der Luft deponierendes NH_3 zu direkten Schäden an der Vegetation führen. Weitere Quellen sind Straßenverkehr, Industrieprozesse, Abfallwirtschaft, natürliche Prozesse wie die Zersetzung von stickstoffhaltigem organischem Material und Verbrennungsprozesse.

Das NH_3 spielt eine wichtige Rolle für die sekundäre Partikelbildung und ist daher auch häufig chemischer Bestandteil vieler Partikel. Das basische NH_3 reagiert in der Atmosphäre mit atmosphärischen Säuren (Salpeter-, Schwefelsäure), wodurch NH_4^+ -Salze (Ammoniumnitrat, -sulfat) entstehen, die in Partikeln über weite Strecken in der Atmosphäre transportiert und dann trocken deponiert oder mit dem Regen ausgewaschen werden können. Da NH_4^+ -Salze in Deutschland zudem einen relevanten Anteil an der Feinstaubmasse (PM_{10}) bilden, sind diesbezüglich Kenntnisse über die groß- und kleinräumige Verteilung der NH_3 -Konzentrationen von Interesse [30,31].

Die Immissionskonzentration von Ammoniak in der Außenluft ist nicht allgemein reglementiert. Es existiert somit kein Grenzwert in der 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Gleichwohl existieren Vorgaben im Bereich des Arbeitsschutzes. Weiterhin sind die europäischen Mitgliedsstaaten durch die europäische NEC-Richtlinie 2001/81/EG [32], die die nationalen Höchstmengen für Emissionen verschiedener Stoffe beschreibt und sich derzeit in der Überarbeitung befindet, verpflichtet, die anthropogenen Emissionen von NH_3 zu verringern.

5.3.2 Kohlenwasserstoffe (C_nH_m)

In der Atmosphäre existiert eine Vielzahl von verschiedenen Kohlenwasserstoffverbindungen. Dies reicht von chemisch gesehen einfachen Verbindungen wie Methan (CH₄) bis zu komplizierten Molekülstrukturen von verschiedensten Aromaten.

Die flüchtigen organischen Kohlenstoffe (volatile organic compounds = VOC) stellen eine sehr große Gruppe von unterschiedlichen Kohlenstoffverbindungen dar (z. B. Alkane und Alkene, Alkohole, Ester, Ether, Ketone, Aromaten), die unter Normbedingungen (0 °C Temperatur und 1.013 hPa Luftdruck) einen hohen Dampfdruck ($\geq 0,01$ kPa) aufweisen und eine entsprechende Flüchtigkeit aufweisen (31. BImSchV; Lösemittelverordnung). Aufgrund ihrer Eigenschaften sind sie häufig Bestandteil von Lösemitteln (Farben, Lacke, Reinigungsmittel), deren Verwendung einen Großteil der anthropogenen Emissionsquellen ausmacht. Hinzu kommen Emissionen aus der Verbrennung und Verdampfung von Benzin im Straßenverkehr. Auch biogene Quellen emittieren Kohlenwasserstoffe. Viele der emittierten Terpene stammen aus Nadeln und Blättern zahlreicher Baumarten. VOC sind ein wichtiger Vorläuferstoff für das troposphärische Ozon [30].

Der einzige zum Schutz der menschlichen Gesundheit in seiner Immission reglementierte Kohlenwasserstoff ist das Benzol (C₆H₆). Dessen krebserregende Wirkung auf den Menschen ist nachgewiesen [26]. Daher nennt die 39. BImSchV einen maximalen Jahresmittelwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 5 µg/m³ (Tabelle 2). Zudem ist die Emission von VOC durch industrielle Tätigkeiten in der 31. BImSchV [33] geregelt.

5.3.3 Kohlenstoffmonoxid (CO)

Kohlenstoffmonoxid (CO) entsteht im Wesentlichen durch unvollständige Verbrennungsprozesse in Kfz-Motoren, Industrie oder beim Hausbrand. Zudem entsteht es durch die Zersetzung organischer Substanz im Boden oder im Wasser. Es kann allerdings auch sekundär durch die Oxidation von Methan (CH₄) und anderen VOCs gebildet werden.

CO ist ein geschmackloses, geruchloses, farbloses und nicht korrosiv wirkendes Gas. Es wird nach Aufnahme ins Blut irreversibel an Hämoglobin gebunden, wodurch dessen Fähigkeit, Sauerstoff zu binden und zu transportieren, eingeschränkt bzw. unterbunden wird. Hieraus resultieren Gewebsschäden infolge einer lokalen Sauerstoff-Unterversorgung [26]. Zudem trägt es zur Bildung von bodennahem Ozon bei.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurde ein Grenzwert für den 8-Stunden-Mittelwert der Immissionskonzentration in der 39. BImSchV festgelegt. Er liegt bei 10 mg/m³ (Tabelle 2).

5.3.4 Ozon (O₃)

Bei dem troposphärischen (bodennahen) Ozon (O₃) handelt es sich um einen sekundär gebildeten Schadstoff. Daher kann auch keine Emissionsermittlung für diesen Stoff stattfinden. In der späteren Immissionsberechnung jedoch spielt das Ozon insbesondere in der Wechselwirkung mit den Stickoxiden eine wichtige Rolle. Daher ist die Erfassung der Emissionen der für die Bildung von O₃ verantwortlichen Stoffe notwendig.

Die wichtigsten Vorläufersubstanzen für O₃ sind die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x) und Methan (CH₄). Zusammen mit den Witterungsbedingungen, v. a. der UV-Strahlung, führen diese Stoffe über ein komplexes Wirkungsgeflecht zur Bildung und auch zum Abbau von troposphärischem O₃.

Ozon ist ein sehr reaktives Molekül, das mit allen biologischen Systemen reagiert. Es kann in hohen Konzentrationen bereits nach kurzer Expositionszeit Schädigungen der Augenbindehaut und der Schleimhäute des oberen Atemtraktes verursachen. Zudem können erhebliche Störungen des Allgemeinbefindens (Kopfschmerzen, Übelkeit, extreme Müdigkeit, Schwindelgefühl, Konzentrationsschwäche) auftreten [26].

Für O₃ ist in der 39. BImSchV ein Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt. Dieser Wert von 120 µg/m³ bezieht sich auf den gleitenden 8-Stunden-Mittelwert. Beim Überschreiten bestimmter Schwellenwerte (Informationsschwelle 180 µg/m³, Alarmschwelle 240 µg/m³) ist durch die beschriebene toxische Wirkung des Ozons zudem eine Information bzw. Warnung der Bevölkerung durch die kontrollierende Stelle angezeigt.

5.3.5 Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid (SO₂) ist ein mit Abstand in den größten Mengen vorkommendes Reizgas einer Gruppe von Schwefel-Sauerstoff-Verbindungen (SO_x). Quellen des atmosphärischen SO₂ sind zum größten Teil Verbrennungsvorgänge von fossilen Energieträgern wie Kohle und Öl in Kraftwerken und Industrieanlagen. Des Weiteren sind industrielle Prozesse (Metallgewinnung aus Erz, u. a.) und die Verbrennung schwefelhaltiger Kraftstoffe in Schiffen als anthropogene Quellen zu nennen. Als natürliche Quellen können insbesondere Vulkane genannt werden.

Das emittierte SO₂ kann in der Atmosphäre sehr schnell mit Wasser zu Schwefliger Säure reagieren und im weiteren Verlauf Schwefelsäure (H₂SO₄) bilden. Diese Säure kann zum einen, bei höheren Partikelkonzentrationen in der Luft, zum Anwachsen bestehender luftgetragener Partikel beitragen. Zum anderen trägt es bei niedrigen Partikelkonzentrationen auch zur Partikelneubildung bei.



Der wesentlichste gesundheitliche Effekt des SO_2 ist die Reizwirkung auf die oberen, bei vertiefter Atmung auch auf die unteren Atemwege. Dies kann auf die Umsetzung zu Schwefliger Säure, die besonders an den Schleimhäuten schnell erfolgt, zurückgeführt werden. Daher kann die Reizwirkung auch an den Augenschleimhäuten einsetzen [26].

Schwefeldioxid kann durch trockene und nasse Deposition aus der Atmosphäre entfernt werden. Durch diesen Prozess kann es Pflanzen schädigen und nach der Ablagerung in Ökosystemen die Versauerung von Böden und Gewässern bewirken.

Für SO_2 gelten daher seit dem 1. Januar 2005 europaweit einerseits Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Der 1-Stunden-Grenzwert beträgt $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und darf höchstens 24-mal im Jahr überschritten werden. Der Tagesgrenzwert von $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darf nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden. Andererseits wurden zum Schutz der Vegetation kritische Werte als Jahres- und als Wintermittelwert (Oktober bis März) von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt.

6. Lagebezogenes Emissionskataster

6.1 Methodik der Emissionsermittlung

Ein Schwerpunkt des HErmEliN-Projektes liegt auf der Erstellung eines flächendeckenden Emissionskatasters für eine große Anzahl von Quellen und Stoffen für Niedersachsen.

Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Methoden zur Ermittlung der Emissionen ist in einem gesonderten Bericht [8] zu finden. Im Folgenden soll aber auf die betrachteten Quellgruppen und auf die Erkenntnisse der Emissionsermittlung eingegangen werden. Generell setzen sich die ermittelten Emissionen des HErmEliN-Projektes zunächst aus einer Aktivitätsrate und einem Emissionsfaktor zusammen. Die Aktivitätsrate kann dabei die Anzahl gehaltener Tiere in einer Stallanlage oder die gefahrenen Kilometer auf einem Straßenabschnitt sein. Der Emissionsfaktor ist zumeist ein aus empirischen Daten ermittelter Faktor, der die Emission eines Stoffes in Abhängigkeit zu einer Aktivität beschreibt.

6.1.1 Emissionen der Industrie

Eine wichtige Quellgruppe sind die Emissionen aus der Industrie, die gas- und partikelförmig an die Umgebungsluft abgegeben werden. Die Zusammensetzung und die Menge der Emissionen sind abhängig von den jeweils ablaufenden Prozessen innerhalb der Betriebe. Zu den größten Emittenten innerhalb der Industrie zählen die Energiewirtschaft sowie zahlreiche produzierende Gewerbe wie die Automobilindustrie und deren Zulieferer. In der Regel werden die Emissionen der Industrie über geführte Quellen (z. B. über Schornsteine) abgeleitet. Generell kann gesagt werden, dass der Beitrag einer Quelle zur lokalen Immissionsbelastung umso geringer ist, je höher die effektive Quellhöhe ist. Die Emissionen bodennaher diffuser Quellen der Industrie (Deponien, Halden, Lagerplätze) sind zusätzlich abhängig von den meteorologischen Bedingungen.

Für den Bereich Industrie stehen aktuelle Daten für NO_x , PM_{10} und NH_3 aus den Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV [34] für das Bezugsjahr 2012 zur Verfügung. Die Datenbasis waren die mittels der bundeseinheitlichen Software BUBE-Online erfassten Daten. Grundsätzlich sind entsprechend der 11. BImSchV Anlagenbetreiber zur Abgabe einer Emissionserklärung verpflichtet, wenn sie Anlagen im Anwendungsbereich dieser Verordnung betreiben und die Emissionen bestimmter Stoffe einen bestimmten Jahres-Massenstrom überschreiten. Eine Emissionserklärung nach 11. BImSchV ist alle 4 Jahre abzugeben.

Die Emissionsangaben in den Emissionserklärungen können auf Berechnungen, Messungen oder Schätzungen basieren. Die Punktquellen werden entsprechend der im Kataster genannten Position und ihrer effektiven Quellhöhe, die sich aus der Wirkung des Wärmeinhaltes und des vertikalen Austrittsimpulses der Abgase (Abgastemperatur, Volumenstrom)

ergibt, in das Modell übernommen (Abbildung 7). Fehlende oder nicht plausible Daten werden durch quellspezifische Standardwerte ersetzt.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit aus dem BUBE-Datensatz heraus Flächenquellen zu identifizieren. Die diffusen Flächenquellen, hierbei handelt es sich z. B. um Lagerhalden oder Umschlagplätze staubender Güter, werden in ihrer tatsächlichen räumlichen Ausdehnung in das Modell übernommen und die Emissionen gleichmäßig auf diese Quellfläche verteilt.

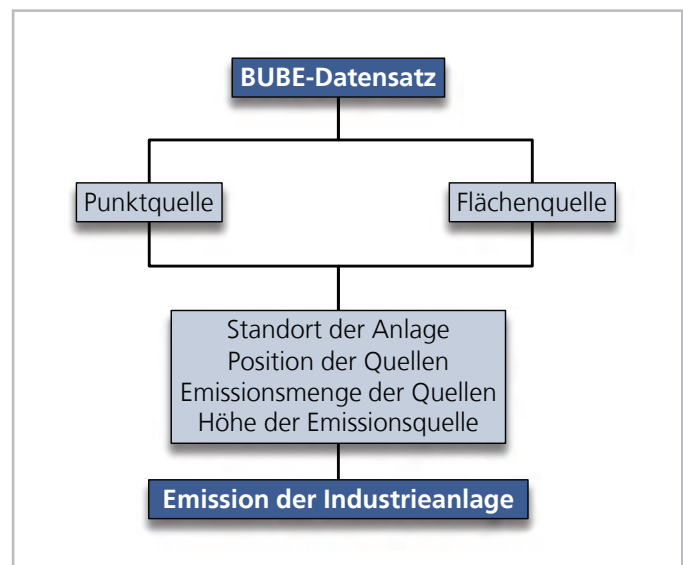


Abbildung 7: Schema Industrie

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Verarbeitung der Daten zu den Emissionen der meldepflichtigen Quellen von Industrieanlagen in Niedersachsen

Biogasanlagen fallen ab einer bestimmten Anlagengröße und Leistung ihrer Blockheizkraftwerk (BHKW)-Module gleichfalls in den Bereich der Industrieanlagen. Mithin existiert für einen Großteil der Biogasanlagen auch eine Meldepflicht für die Emissionsdatenbank BUBE-Online. Im Jahr 2014 wurden in Niedersachsen 1.724 Biogasanlagen betrieben, womit etwa 18 % der in Deutschland vorhandenen Biogasanlagen in Niedersachsen stehen [35]. Biogas entsteht beim mikrobiellen Abbau organischer Substanzen unter Sauerstoffabschluss. In einer Biogasanlage werden langkettige Moleküle (Kohlenhydrate, Fette, Proteine) durch Hydrolyse gespalten, durch acidogene Bakterien zunächst in Säuren umgebildet und dann durch methanogene Bakterien in Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) verstoffwechselt [34].

Für Niedersachsen konnten spezifische Daten zu Biogasanlagen aus einem landesweiten Inventarbericht [36] ermittelt werden. Aufgrund des starken Zubaus von Anlagen in den letzten Jahren beinhaltet dieser Datensatz einen aktuelleren Stand an Biogasanlagen als der BUBE-Datensatz aus dem Jahr 2012. Des Weiteren werden Anlagen erfasst, die nicht die



beschriebenen Kriterien für eine Meldung nach 11. BImSchV erreichen. Um eine Dopplung der Daten in den Emissionen zu verhindern, wurden die entsprechenden Datensätze zu den Biogasanlagen des BUBE-Datensatzes nicht übernommen.

Landwirtschaftliche Betriebe, die eine gewisse Anzahl an Tierplätzen überschreiten, sind zum einen genehmigungsbedürftig nach dem BImSchG und gelten dann mithin als Industrieanlagen. Große Betriebe mit vielen Tieren tauchen daher auch in der BUBE-Datenbank auf, während kleinere Betriebe fehlen. Die Emissionen der landwirtschaftlichen Tierhaltungsbetriebe werden im HErmEliN-Projekt deshalb auf Grundlage anderer Kriterien erfasst (Abschnitt 6.1.2). Die in der BUBE-Datenbank genannten Emissionen der Tierhaltungsanlagen wurden lediglich zu Vergleichszwecken herangezogen, in die Berechnung jedoch nicht aufgenommen.

6.1.2 Emissionen der Landwirtschaft

Die Quellgruppe Landwirtschaft umfasst im HErmEliN-Projekt in der Hauptsache die Emissionen aus der Tierhaltung, bei der sowohl unterschiedliche gasförmige als auch staubförmige Emissionen entstehen. Die Emissionen sind demzufolge von verschiedenen Faktoren abhängig, wobei

- die Tierart,
- die Anzahl der Tiere und ihre Besatzdichte,
- die Sauberhaltung der Stallanlagen,
- Ort und Dauer der Lagerung von Fest- und Flüssigmist,
- die Luftaustauschrate und
- die Zuluft- und Abluftregelung im Stallgebäude

die größten Einflüsse auf die Gesamtemission ausüben.

Emissionen entstehen generell bei der Zersetzung tierischer Exkrememente, bei der beispielsweise der gebundene Stickstoff als Ammoniak (NH_3) freigesetzt wird. Ein Großteil der Emissionen entsteht direkt im Stall, bei der Fütterung und der Stallhaltung der Tiere (z. B. auf Stroh) wird überwiegend Staub emittiert. Dazu kommen Emissionen von NH_3 und auch NMVOC durch Silagefütterung und Gülle im Stall sowie deren Lagerung in und außerhalb der Stallanlagen. Das Ausbringen des festen und flüssigen Wirtschaftsdüngers sorgt wiederum auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen für Emissionen von NH_3 und NMVOC, die zusammen mit CH_4 auch bei der Weidehaltung von Tieren entstehen.

Die Daten einzelner landwirtschaftlicher Betriebe konnten hier nicht genutzt werden. Lediglich einzelne Landkreise haben eigene Datenbanken mit der geographischen Position von Betrieben sowie auch Tierzahlen, die hier zur Verfügung gestellt wurden. Darüber hinaus konnten Daten von der Tierseuchenkasse Niedersachsen (TSK) aus dem Jahre 2013 auf Landkreisebene genutzt werden. Für die Betriebe in den Landkreisen ohne genauere Daten musste im HErmEliN-Projekt eine

Methode zur Ermittlung der Emissionen und zur Verteilung dieser Emissionen entwickelt werden.

Die exakte Georeferenzierung der Emissionsquellen aus der Tierhaltung ist aufgrund der beschriebenen lückenhaften Datenlage nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Es wird angenommen, dass die Tierhaltung ausschließlich innerhalb von Gebäuden stattfindet. Die zum Bearbeitungszeitpunkt aktuell vorhandenen Datenbestände (ATKIS-Daten, Gebäudemodell, Nutzungs- und Siedlungsinformationen) können somit zur Identifizierung von Tierhaltungsanlagen verwendet werden.

Im ersten Schritt dieser Identifizierung wird eine Vorauswahl an Gebäuden nach Kriterien getroffen, die für alle Tiergruppen gelten: Gebäude dürfen eine bestimmte Größe und Höhe nicht unterschreiten, sie dürfen nicht als Wohngebäude definiert sein und sie müssen außerhalb von Siedlungsgebieten liegen. Im Folgenden wird dann eine weitergehende Differenzierung nach Tierarten vorgenommen. Mit unterschiedlichen empirischen Methoden werden charakteristische Gebäude identifiziert und den drei wichtigsten Tierarten (Schwein, Rind, Geflügel) zugeordnet.

Diesen als Tierhaltungsanlagen identifizierten Gebäuden wurden gebäudeflächengewichtet Tierplatzzahlen der Tierseuchenkasse Niedersachsen als Basis für die Emissionsberechnung zugewiesen. Die Emissionen werden anhand der Emissionsfaktoren des Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (Tier 1) berechnet [25]. Eine Gesamtübersicht zur Identifizierung der Gebäude und der Ermittlung der Emissionen zeigt Abbildung 8.

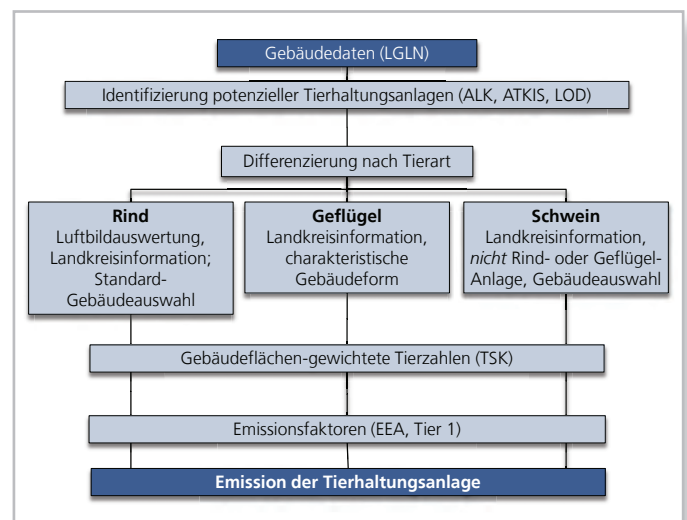


Abbildung 8: Schema Tierhaltungen

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur GIS-basierten Ermittlung von Stallanlagen und der Berechnung der Emissionen von Tierhaltungen aus den vorhandenen Tierplatzzahlen

6.1.3 Emissionen des Hausbrands

Mit Hausbrand wird die Quellgruppe der nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bezeichnet. Diese Gruppe umfasst die emissionsrelevanten Anlagen der öffentlichen und privaten Haushalte (Heizung und Warmwasserbereitung) sowie die nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen im gewerblichen Bereich (Heizung und Prozesswärme).

Die Emissionen werden mithilfe von Kkehrbuchdaten der Niedersächsischen Landesinnung der Schornsteinfeger (LIV) berechnet. Diese in den Jahren 2013 – 2016 pro Feuerstätte erhobenen Daten ermöglichen es einerseits, die Emissionsquelle zu georeferenzieren und andererseits den Schadstoffausstoß mithilfe von Emissionsfaktoren des UBA [37] zu ermitteln. Für Gebäude, für die keine Daten bezogen werden konnten, wird aus den vorhandenen Daten die mittlere Emission pro Gebäude in Abhängigkeit von der Nutzung (Haushalt, Gewerbe, Mischgebiet) ermittelt und übertragen.

Eine Übersicht der angewandten Methodik zeigt Abbildung 9.

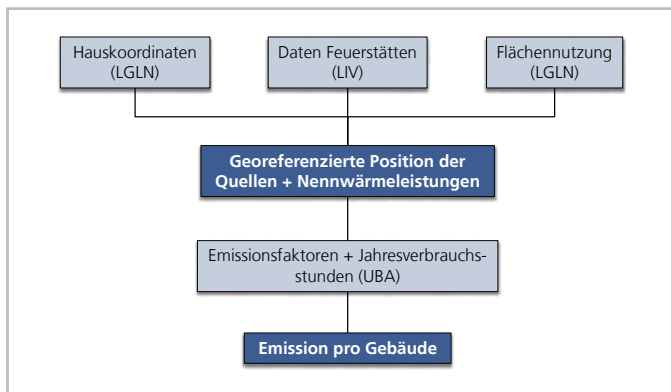


Abbildung 9: Schema Hausbrand

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen des Hausbrands aus den vorhandenen Daten des LIV zu den Feuerstätten in Niedersachsen

6.1.4 Emissionen des Verkehrs

6.1.4.1 Straßenverkehr

Die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen erfolgt auf der Basis des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) in der Version 3.2 [38] und unter Berücksichtigung der nicht motorbedingten Partikel-Emissionen durch Aufwirbelung von Partikeln und von Reifen- und Bremsabrieb. Um aus diesen Emissionsfaktoren jährliche Emissionsmengen zu berechnen wurde das Programm IMMIS^{em} [39] in der Version 6 genutzt. Für die Bestimmung der Emissionen des Straßenverkehrs wird nach dem Schema in Abbildung 10 vorgegangen. Die Emissionen der jeweiligen

Straße werden dabei auf der Basis der Straßenlänge und einer spezifischen Emission berechnet. Die spezifische Emission eines Streckenabschnitts ist hierbei abhängig von

- der Verkehrsmenge und -zusammensetzung,
- der Verkehrssituation gemäß HBEFA und
- der Verkehrsqualität in 4 Stufen.

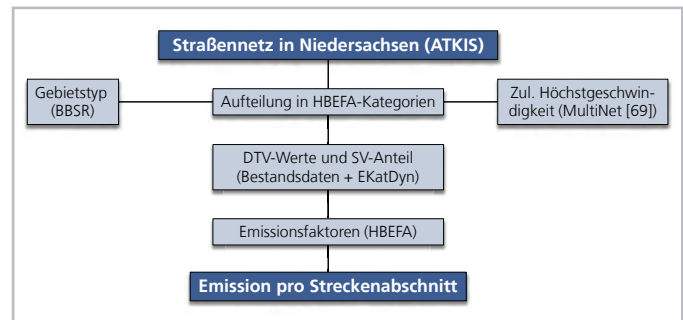


Abbildung 10: Schema Straßenverkehr

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen des Straßenverkehrs

Für die Berechnung der Emissionen des Straßenverkehrs sind entsprechend der Systematik des HBEFA 3.2 verschiedene Attribute zur Beschreibung der Verkehrssituation auf jedem Streckenabschnitt des ATKIS-Straßennetzes notwendig. Die Zuordnung dieser Attribute zu einzelnen Straßen konnte weitestgehend aus den Eigenschaften des ATKIS-Datensatzes abgeleitet werden. Davon abweichend wurden der Gebietstyp und die zulässige Höchstgeschwindigkeit aus externen Daten (BBSR [71]; MultiNet® von Tele Atlas [69]) abgeleitet.

Die Verkehrsmengen (DTV-Wert) und Verkehrszusammensetzungen (Schwerverkehr-Anteil) konnten für einen Teil der Strecken aus Zählraten von Städten oder der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLSt-BV) übernommen werden. Für ca. 67 % des niedersächsischen Verkehrsnetzes (bezogen auf die Streckenkilometer) wurden diese Werte anhand von soziodemographischen Daten mit dem Nebennetzmodell des Programms EKatDyn (Dynamisches Emissionskataster; [7]) abgeleitet.

Der Zustand des Verkehrs wird für jeden einzelnen Straßenabschnitt mit vier verschiedenen Qualitätsstufen (Level of Service LOS: flüssig, dicht, gesättigt, Stop & Go) beschrieben. Deren Anteile wurden in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie der Kapazität der Straße mit einem im Programm IMMIS^{em} integrierten Modell [39] ermittelt.

Auf der Basis dieser Daten wurde für alle Straßen des niedersächsischen Verkehrsnetzes die Emission des Straßenverkehrs für verschiedene Schadstoffe im Bezugsjahr 2011 berechnet.



6.1.4.2 Schienenverkehr

Durch den Schienenverkehr werden verbrennungsmotortypische Emissionen und Emissionen aus Abrieb verursacht. Das Umweltzentrum der Deutsche Bahn AG (DB AG) hält ein Emissionskataster des Schienenverkehrs vor, auf dessen Inhalte im vorliegenden Projekt zurückgegriffen wurde. Das Schema zur Ermittlung der Emissionen des Schienenverkehrs ist in Abbildung 11 dargestellt.

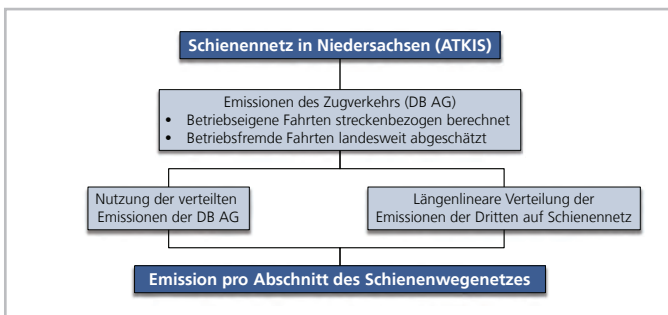


Abbildung 11: Schema Schienenverkehr

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen des Straßenverkehrs

Das Emissionskataster liefert für eine Vielzahl von Schadstoffen größtenteils streckenbezogene Emissionen aus Verbrennungsmotoren und Abrieb und basiert auf den Fahrplandaten des Bezugsjahres 2012. Verbrennungsbedingte Emissionen, die durch betriebsfremde Fahrten von sogenannten Dritten auf den Trassen der DB Netz AG verursacht werden, wurden vom Umweltzentrum der DB AG abgeschätzt und längenlinear zu den DB-eigenen Emissionen aller gemäß Eisenbahn-Bundesamt (EBA) aktiven Bahnstrecken im vorliegenden ATKIS-Schienennetz in Niedersachsen [40] addiert.

6.1.4.3 Schifffahrt

Die Schifffahrt nimmt in Niedersachsen aufgrund seiner Lage als Nordseeanrainer eine wichtige Rolle ein. Aber auch die Binnenschifffahrt erreicht regional eine wichtige wirtschaftliche Bedeutung.

Für jede Linie des bundeseinheitlich abgestimmten Verkehrsnetzes der Bundeswasserstraßen [41] in Niedersachsen wurde getrennt für die Binnenschifffahrt und den Seeverkehr die Emission für verschiedene Schadstoffe ermittelt. Die Emission wird aus den Angaben der transportierten bzw. umgeschlagenen Gütermenge, der Länge des Transportweges und dem jeweiligen Emissionsfaktor berechnet. Eine Übersicht der gewählten Vorgehensweise zur Bestimmung der Emissionen der Schifffahrt ist in Abbildung 12 dargestellt.

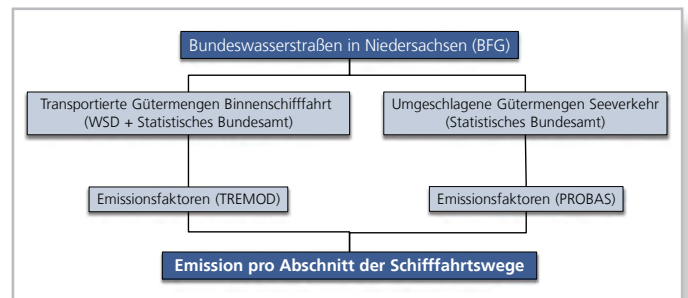


Abbildung 12: Schema Schifffahrt

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen der Schifffahrt

Die transportierten Gütermengen der Binnenschifffahrt wurden auf der Basis der Angaben der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Außenstelle Mitte, Ost und West [42–44] und der Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt des Statistischen Bundesamtes [45] auf dem Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen verteilt. Die Ansätze zum Güterumschlag des Seeverkehrs in den niedersächsischen Binnenhäfen entstammen ebenfalls Angaben des Statistischen Bundesamtes [46].

Die Emissionsfaktoren für die Binnenschifffahrt wurden aus dem Projekt TREMOD 5 [47] ermittelt. Für den Schadstoff SO₂ existiert kein direkter Emissionsfaktor für die transportierten Gütermengen der Schifffahrt. Dieser wurde aus einem SO₂-Emissionsfaktor zum Energieverbrauch von Binnenschiffen abgeleitet. Für Seeschiffe wurden mittlere Emissionsfaktoren für Überseeschiffe (Container, mittel) der PROBAS-Datenbank [48] verwendet. Die gesetzlichen Regelungen hinsichtlich des erlaubten Schwefelanteils im Kraftstoff sind in den SO₂-Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt und der Seeschiffe berücksichtigt. Die Herleitung dieser Emissionsfaktoren ist ausführlich in einem gesonderten Bericht [8] beschrieben.

Auf der Basis dieser Daten wurde für alle Schifffahrtswege in Niedersachsen die Emission für verschiedene Schadstoffe im Bezugsjahr 2012 berechnet.

6.1.4.4 Offroadverkehr

Beim Offroadverkehr handelt es sich um alle mobilen Maschinen, die nicht oder nur in einem vernachlässigbaren Maß im öffentlichen Straßenverkehr bewegt werden. Dies gilt für die Land- und Forstwirtschaft, aber auch für den werksinternen Verkehr der Industrie (auf Betriebsgeländen, in Steinbrüchen, etc.), militärische Fahrzeuge und generell Maschinen mit Verbrennungsmotoren (z. B. Baumaschinen, o. ä.).

Eine detaillierte Aufstellung zu Fahrzeugen und mobilen Maschinen in landwirtschaftlicher, forstwirtschaftlicher, gewerblicher oder privater Nutzung ist für Niedersachsen

nicht vorhanden. Für das HErmEliN-Projekt werden als Annäherung die Zulassungszahlen für landwirtschaftliche Zugmaschinen des Kraftfahrtbundesamts [49] sowie des Statistischen Bundesamts für den Stichtag 31.12.2014 [50] verwendet. Für die Emissionen des Offroadverkehrs aus anderen Quellen ist keine ausreichende Datenbasis vorhanden. Die nach dem in Abbildung 13 dargestellten Schema ermittelten Emissionen werden auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen über die vorliegenden Daten zur Feldblocknutzung landkreisbezogen in Niedersachsen verteilt. Weitere Details zu dieser Methodik sind dem Teilbericht „Methodik der Emissionsermittlung“ [8] zu entnehmen.

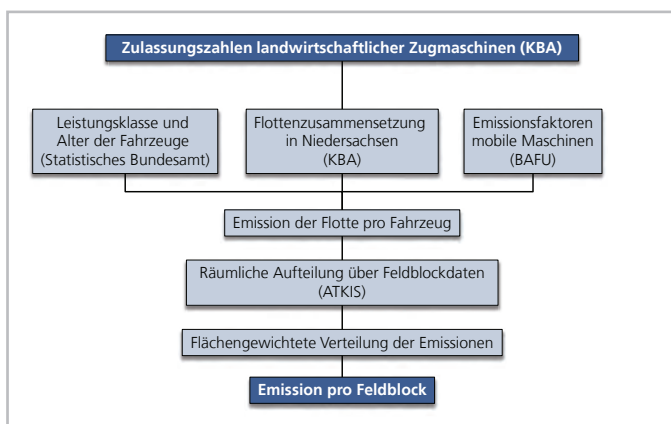


Abbildung 13: Schema Offroadverkehr

Schematische Darstellung der Vorgehensweise für landwirtschaftliche Zugmaschinen zur Berechnung der Emissionen des Offroadverkehrs

6.1.5 Emissionen biogener Quellen

Aus biogenen Quellen werden zum einen gasförmige Stoffe wie Ammoniak (NH_3), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) und flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VOC) emittiert. Zum anderen stellen sie einen zum Teil bedeutenden Anteil der (Fein-) Staubemissionen (PM). Als biogene Quellen werden in diesem Zusammenhang alle diejenigen Emissionsquellen verstanden, die nicht auf direkte menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind. Dabei handelt es sich in erster Linie um

- Blütenstaub, Pollen und pflanzliches Material,
- Meersalz,
- (Wieder-) aufgewirbeltes Bodenmaterial (organisch und mineralisch),
- Biogene flüchtige organische Verbindungen (BVOC) aus Pflanzen, z. B. Terpene, Isopren oder
- Abbauprodukte organischen Materials in Böden und natürlichen / naturnahen Gewässern.

Der Einfluss biogener Quellen auf die Gesamtemissionen schwankt sehr stark in Abhängigkeit vom betrachteten Stoff, von der Jahreszeit, den meteorologischen Bedingungen und der geographischen Lage des Immissionsortes.

Die Umsetzung der Emissionen der biogenen Quellen im HErmEliN-Projekt erfolgt durch das für die Immissionsberechnung verwendete RCG-Modell, das die zuvor genannten Prozesse und Quellen berücksichtigt. Die Emissionsdaten werden dabei aus den Landnutzungsdaten (z. B. Waldflächen und VOC-Emissionen, Mineralstaub von naturbelassenen und landwirtschaftlich genutzten Böden) generiert. Sie sind abhängig von den meteorologischen Bedingungen, insbesondere der Temperatur, den Windverhältnissen und den Einstrahlungsverhältnissen.



6.2 Unsicherheiten

Eine ausführliche Betrachtung der Unsicherheiten der gewonnenen Emissionsdaten ist im Teilbericht „Methodik der Emissionsermittlung“ [8] zu finden. Im Folgenden soll lediglich auf die wichtigsten Punkte sowie die daraus resultierenden Konsequenzen für die hier beschriebenen Ergebnisse eingegangen werden.

Unsicherheiten entstehen auf der einen Seite bei der Aktivitätsrate und auf der anderen Seite beim Emissionsfaktor. Die unterschiedlichen Unsicherheiten liegen zum einen in den gewählten Methoden begründet, zum anderen in der Verfügbarkeit der Ausgangsdaten zur Emissionsermittlung. Mit zunehmender Unsicherheit sinken die Aussagekraft und die Überprüfbarkeit der Daten. Eine Unsicherheitsbetrachtung liefert in diesem Sinne eine Grundlage zur Einschätzung der Datenqualität. Des Weiteren können so diejenigen Felder identifiziert werden, für die zukünftig eine bessere Datenerfassung, z. B. durch Messungen, einzufordern ist.

Die Aktivitätsdaten werden abgeleitet aus Angaben von Anlagenbetreibern (Hausbrand, Industrie), Statistiken (Zulassungszahlen, Tierzahlen etc.), aus ökonomischen Daten (z. B. Kraftstoffverbrauch) oder aus Zählenden (Straßenverkehr). Je räumlich höher aufgelöst diese Daten erhoben werden können, desto geringer ist deren Unsicherheit. Aus Aktivitätsdaten unterschiedlicher Herkunft ergeben sich deutliche jedoch nicht zwangsläufig quantifizierbare Unterschiede in der Unsicherheit.

Um eine Einschätzung der Qualität der Emissionsfaktoren und der daraus berechneten Emissionen zu treffen, wird

nach den Vorgaben des Air Pollutant Emission Inventory Guidebook [25] vorgegangen. Eine tatsächliche quantitative Aussage zur Unsicherheit der Daten ist nicht möglich. Die Unsicherheiten der einzelnen Quellgruppen werden daher rein qualitativ betrachtet. Es werden hierfür fünf Gütestufen mit jeweils typischen Unsicherheitsbereichen aus den Vorgaben der EEA übernommen (Tabelle 3). Die Tabelle gibt dabei die maximale Unsicherheit bei den Aktivitätsraten und den Emissionsfaktoren an. Als Ergänzung zu dieser Methodik der EEA wird hier ferner auf die Möglichkeiten zur Ermittlung der genauen räumlichen Position der Quelle und die Konsequenzen für die Ausbreitungsrechnung eingegangen.

Die Ergebnisse der Unsicherheitsbetrachtung sind in Tabelle 4 für alle beschriebenen Quellgruppen aufgelistet. Es zeigt sich, dass die Emissionen der stationären Quellen (Industrie, Hausbrand) aufgrund der guten räumlichen und emissionsseitigen Ausgangsdaten mit einer eher geringen Unsicherheit bestimmt werden können. Eine Ausnahme bildet hierbei die Landwirtschaft, deren Emissionen von den Tierzahlen abhängig sind. Daten zu den Tierzahlen der einzelnen Betriebe konnte jedoch im Rahmen des HErmELiN-Projektes nicht für alle Landkreise und Regionen gewonnen werden.

Größere Unsicherheiten ergeben sich bei den quasi-mobilen Quellen. Die Lage der verkehrlichen Emissionen (Straßen-, Schienen- und Binnenschiffsverkehr) ist eindeutig identifizierbar. Allerdings ist die Verteilung der jeweiligen Emissionsmengen auf diesen bekannten Linien aufgrund fehlender weiterer Informationen nur im Sinne einer Gleichverteilung möglich. Die Emissionen des Offroadverkehrs sind zusätzlich auch in ihrer Lage mit einer großen Unsicherheit behaftet.

Tabelle 3: Gütestufen und typische Unsicherheitsbereiche

Aus dem Air Pollutant Emission Inventory Guidebook [25] entnommene typische Unsicherheitsbereiche für die Zuteilung zu Gütestufen im Rahmen der Beurteilung der Unsicherheiten der ermittelten Emissionen

| Gütestufe | Definition | Typischer Unsicherheitsbereich |
|-----------|--|--------------------------------|
| A | Wert, der auf einer Vielzahl von Messungen an vielen Anlagen basiert, die den Sektor vollständig repräsentieren | 10 bis 30 % |
| B | Wert, der auf einer Vielzahl von Messungen an vielen Anlagen basiert, die den Sektor in großen Teilen repräsentieren | 20 bis 60 % |
| C | Wert, der auf einer geringen Anzahl von Messungen an wenigen repräsentativen Anlagen des Sektors basiert oder sich auf eine Expertenmeinung stützt, die auf einer Anzahl relevanter Fakten basiert | 50 bis 150 % |
| D | Wert, der auf einzelnen Messungen basiert oder sich auf eine Expertenmeinung stützt, die aus einer Anzahl relevanter Fakten abgeleitet wurde | 100 bis 300 % |
| E | Wert, der sich auf eine Expertenmeinung stützt, die auf Annahmen basiert | Größenordnung |

Tabelle 4: Unsicherheiten der Quellgruppen

Anhand der Vorgaben des Air Pollutant Emission Inventory Guidebook [25] bestimmte Einteilung der ermittelten Emissionen der Quellgruppen in Gütestufen mit typischen Unsicherheitsbereichen

| Quellgruppe | Datenbasis | Gütestufe |
|-------------------------------|--|-----------|
| <u>Industrie</u> | | |
| Industrieanlagen | Quellen exakt verortbar; Emissionen aus BUBE-Datenbank; Messung, Berechnung oder Schätzung | A - C |
| Biogasanlagen | Quellen exakt verortbar; Emissionsfaktoren aus Messungen an unterschiedlichen Anlagen; Aktivitätsdaten aus mittleren Betriebsstundenzahlen | C |
| <u>Landwirtschaft</u> | | |
| Tierhaltungen | Quellen nur teilweise exakt verortbar; Emissionsfaktoren aus Messungen an unterschiedlichen Anlagen; Aktivitätsdaten pauschalisiert über Tierplatzzahlen | B - C |
| <u>Hausbrand</u> | | |
| Hausbrand | Quellen zumeist exakt verortbar; Emissionsfaktoren aus Messungen an unterschiedlichen Anlagen; Aktivitätsdaten aus mittleren Verbräuchen | A - B |
| <u>Verkehr</u> | | |
| Straßenverkehr | Quellen exakt verortbar; Emissionsfaktoren aus HBEFA basierend auf Einzelmessungen; Aktivitätsdaten aus DTV-Werten (Zähl- und synthetisch erzeugte Daten) | B - C |
| Schienenverkehr | Quellen exakt verortbar; Emissionen aus Emissionskataster der DB AG und Abschätzungen; Aktivitätsdaten aus Fahrplan | B - C |
| Schiffsverkehr | Quellen exakt verortbar; Emissionsfaktoren aus Messungen an unterschiedlichen Anlagen; Aktivitätsdaten aus mittleren Leistungen und Verbräuchen | C |
| Offroadverkehr | Quellen nur indirekt verortbar; Zulassungszahlen landwirtschaftlicher Zugmaschinen; Emissionsfaktoren basierend auf Einzelmessungen; Aktivitätsdaten abgeschätzt | C - D |
| <u>Biogene Quellen</u> | | |
| Biogene Quellen | Keine Erfassung im Rahmen des HErmEliN-Projektes | - |



6.3 Auswertung der Emissionsdaten

Die im HErmEliN-Projekt ermittelten lagebezogenen Emissionen ergeben eine zum Teil deutlich heterogene Verteilung der Emissionen in Niedersachsen. Für die spätere Ausbreitungsrechnung wird die Landesfläche Niedersachsens in Rasterquadrate mit einer Kantenlänge von 2 km sowie im südlichen Bereich mit einer Kantenlänge von 0,5 km aufgeteilt. Näheres hierzu ist der Modellbeschreibung in Abschnitt 7.2 zu entnehmen oder den entsprechenden Teilberichten [9, 10].

Da das Hauptaugenmerk des Projektes auf den Stickoxiden (NO_x) und dem Feinstaub (PM_{10}) lag, wurden bei allen Quellgruppen vorrangig die direkten Emissionen dieser beiden Stoffe ermittelt. Wo es in diesem Detaillierungsgrad (bottom-up-Ansatz) möglich war, wurden alle weiteren Stoffe, die zum Teil auch als Vorläufersubstanzen für sekundär gebildete Schadstoffe dienen, zusätzlich ermittelt. Die im

Folgenden beschriebenen Summen und Anteile beziehen sich immer auf die in diesem Projekt ermittelten Emissionen, die aufgrund des Fehlens von Daten nicht die tatsächlichen Gesamtemissionen darstellen können. Eine Zusammenfassung der für Niedersachsen ermittelten Emissionen zeigt Tabelle 5.

In den Fällen, in denen eine Ermittlung der Emissionen nicht möglich war, wurde auf die vom Rechenmodell zur Verfügung gestellten Emissionen der Stoffe zurückgegriffen. Diese basieren zumeist nicht auf einem bottom-up-Ansatz, sondern sind von einer Gesamtmenge für Niedersachsen oder Deutschland nach bestimmten Kriterien heruntergerechnet (top-down-Ansatz). Die im HErmEliN-Projekt ermittelten Anteile der Quellgruppen an den Gesamtemissionen von PM_{10} und NO_x sowie die räumliche Verteilung der Gesamtemissionen der beiden Stoffe in Niedersachsen sind in Abbildung 14 bis Abbildung 16 dargestellt.

Tabelle 5: Gesamtemissionen HErmEliN-Projekt

Zusammenfassung der auf Grundlage der im Text beschriebenen Methoden ermittelten Emissionen der Luftschadstoffe NO_x , PM_{10} , C_nH_m , CO , SO_2 und NH_3 aller im HErmEliN-Projekt betrachteten Quellgruppen für Niedersachsen in kg/a im Bezugsjahr 2011

| Quellgruppe | NO_x in kg/a | PM_{10} in kg/a | C_nH_m in kg/a | CO in kg/a | SO_2 in kg/a | NH_3 in kg/a |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Industrie | 32.319.180 | 3.909.059 | * | * | * | 141.005 |
| Biogasanlagen | 3.815.865 | 123.333 | 219.991 | 3.815.865 | 1.720.296 | 5.008 |
| Hausbrand | 9.951.016 | 2.204.543 | * | 71.978.831 | 6.286.216 | * |
| Landwirtschaft | * | 17.171.580 | 51.697.553 | * | * | 171.716.445 |
| Schifffahrt | 9.228.198 | 611.293 | 500.916 | 1.720.677 | 1.381.792 | * |
| Schienenverkehr | 1.293.136 | 912.480 | 76.854 | 227.439 | 705 | * |
| Straßenverkehr | 60.906.811 | 5.334.961 | 10.299.262 | 92.445.495 | 97.551 | 2.326.492 |
| Offroad | 4.277.359 | 265.422 | 426.179 | 2.087.204 | * | * |
| Biogene Quellen | * | * | * | * | * | * |
| Summe Niedersachsen | 121.791.564 | 30.532.671 | 63.220.755 | 172.275.511 | 9.486.560 | 174.188.950 |

*: Emissionsdaten wurden im HErmEliN-Projekt nicht erfasst und werden vom Rechenmodell hinzugefügt

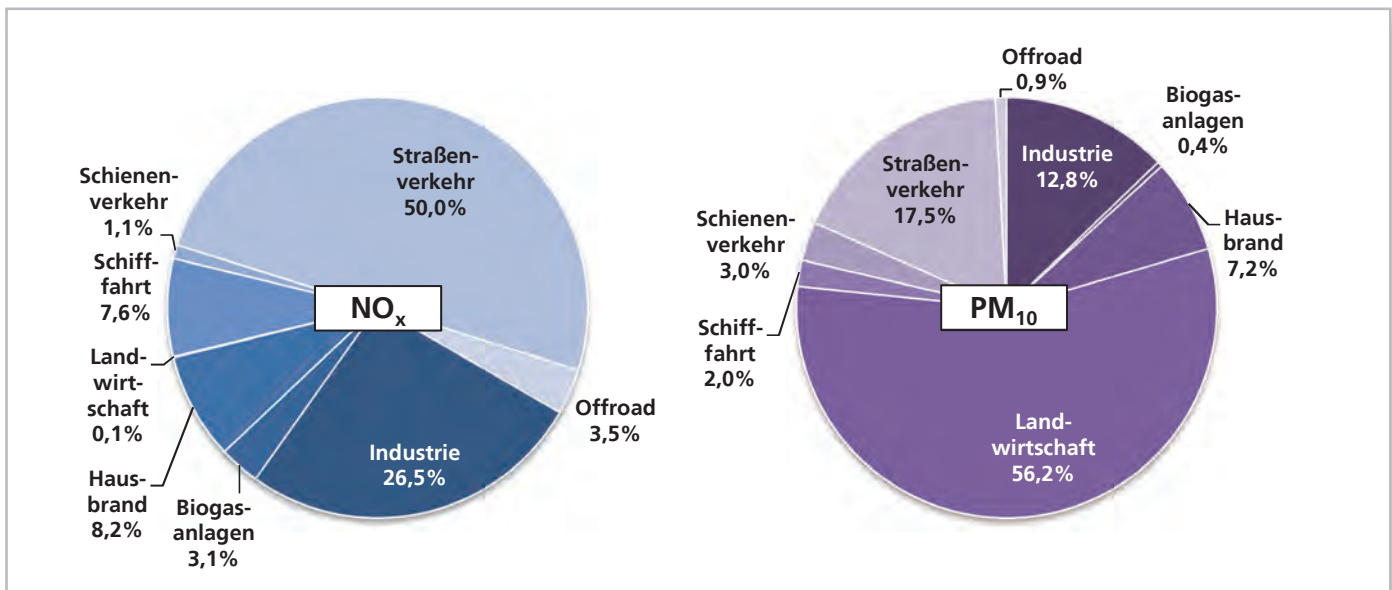


Abbildung 14: Anteile der Quellgruppen an den Emissionen

Prozentuale Anteile der im HErmEliN-Projekt betrachteten Quellgruppen Industrie, Biogasanlagen, Hausbrand, Landwirtschaft, Schiffahrt, Schienen-, Straßen- und Offroadverkehr an der Gesamtemission von Stickoxiden (NO_x) (links) und Feinstaub (PM₁₀) (rechts) in Niedersachsen

Es ergeben sich deutliche Unterschiede in der Verteilung der Anteile bei den betrachteten Luftschadstoffen. Während der Straßenverkehr zur Emission von PM₁₀ lediglich knapp 18 % beiträgt, verursacht er die Hälfte der anthropogenen NO_x-Emissionen in Niedersachsen. Der Anteil der Industrie an den PM₁₀-Emissionen liegt bei etwa 13 %. Dagegen sind es etwas mehr als ein Viertel der NO_x-Emissionen in Niedersachsen. Beim Feinstaub der Größenklasse PM₁₀ dominieren die Emissionen der Landwirtschaft (Tierhaltung, ca. 56 %), die im Gegensatz dazu bei NO_x nur unwesentlich zur Emission beitragen. Die Emissionen des Hausbrands haben sowohl bei NO_x als auch bei PM₁₀ eine deutlich untergeordnete Rolle mit Anteilen von 7 – 8 % an der Gesamtemission.

In der räumlichen Verteilung der Emissionen ergeben sich ebenso klare Unterschiede zwischen Stickoxiden und Feinstaub. Die bei NO_x ermittelte Dominanz der Straßenverkehrsemissionen zeigt sich auch in der räumlichen Verteilung deutlich. Die Verkehrswege mit hohen Verkehrsmengen zeichnen sich klar vom Hintergrund ab. Allerdings sind bei den Stickoxiden auch die Schifffahrtswege des Seeverkehrs als starke anthropogene Quellen zu sehen (entlang der Elbe und auf den Schifffahrtswegen in der Nordsee). Vereinzelt zeichnen sich Industrieanlagen mit hohen

NO_x-Emissionen ab. Nur geringe NO_x-Emissionen konnten in den eher durch die Agrarindustrie geprägten Landesteilen im Westen ermittelt werden. Gleiches gilt für die im südlichen Landesteil gelegenen Höhenzüge des Weser- und Leineberglandes und des Harzes, die Lüneburger Heide, das Wendland sowie große Bereiche entlang der Nordseeküste und dessen Hinterland (Abbildung 15).

Beim Feinstaub der Größenklasse PM₁₀ zeigen die Gebiete Niedersachsens mit einer großen Anzahl und Dichte von Intensivtierhaltungen (im Westen des Landes) die höchsten Emissionen. In den übrigen Landesteilen heben sich dagegen lediglich die größeren Siedlungsbereiche (Hannover, Braunschweig, Göttingen) vom Hintergrund ab, was vornehmlich durch den Hausbrand und die höhere Dichte von Straßenverkehrsverbindungen verursacht wird. In Teilen sind auch die Straßenverkehrsverbindungen mit hohen Verkehrsmengen (A2, A7) außerhalb der Städte zu erkennen (Abbildung 16). In den Bereichen der im südlichen Landesteil gelegenen Höhenzüge des Weser- und Leineberglandes und des Harzes, in der Lüneburger Heide, im Wendland und in Teilbereichen entlang der Nordseeküste konnten nur sehr geringe anthropogene Emissionen von Feinstaub ermittelt werden.

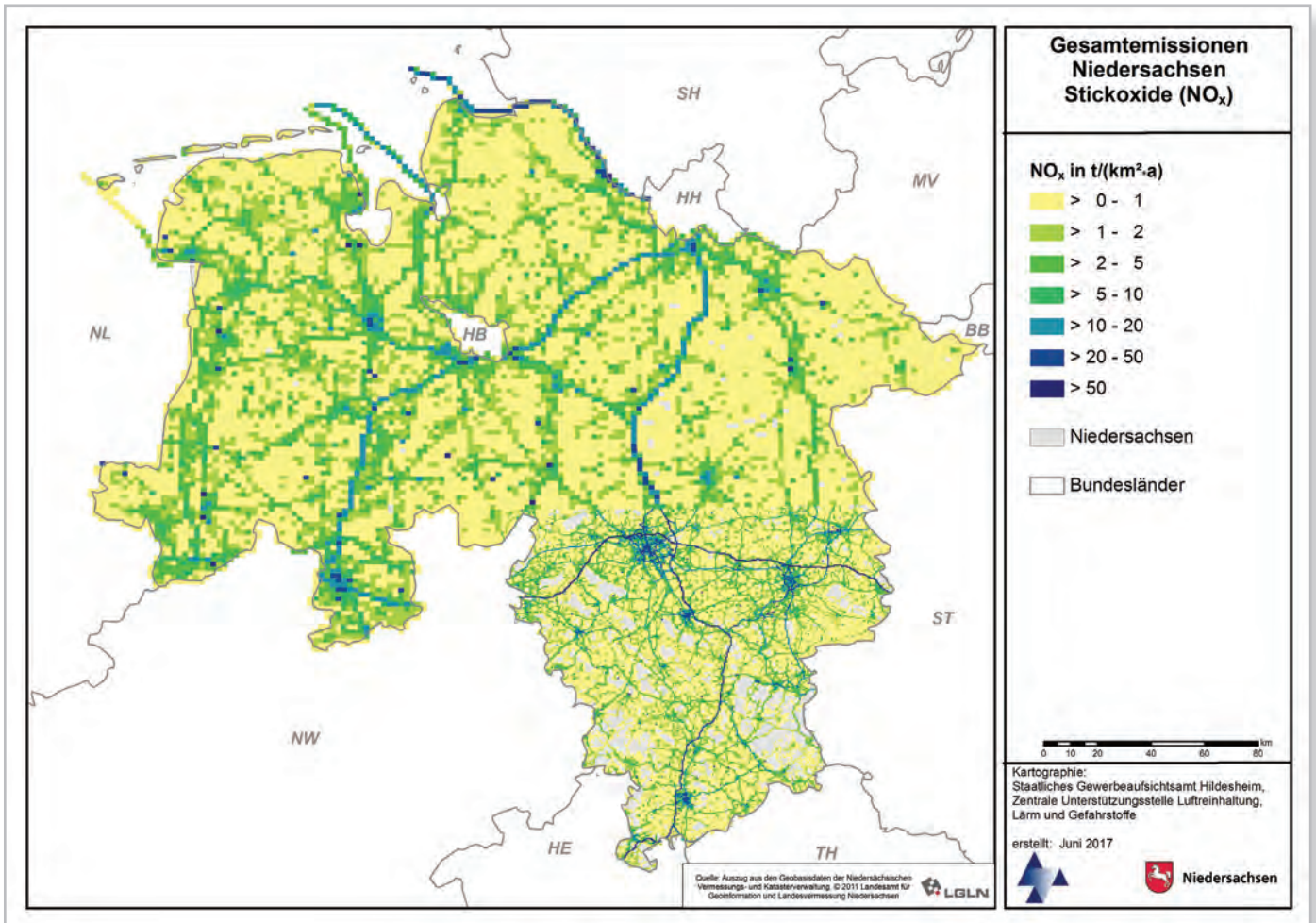


Abbildung 15: Gesamt-NO_x-Emission

Darstellung der im HERmEliN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen aller betrachteten Quellbereiche in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

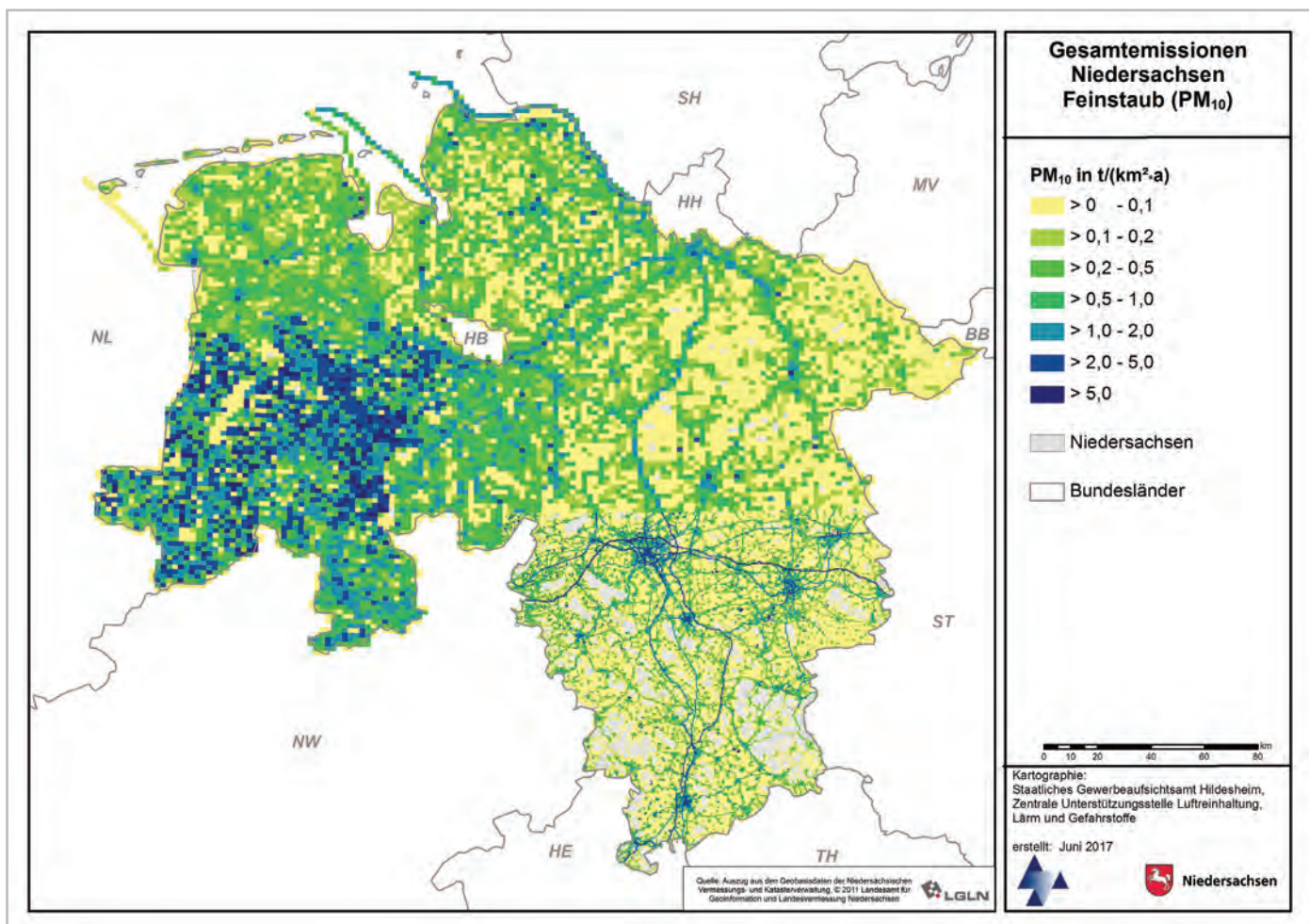


Abbildung 16: Gesamt-PM₁₀-Emission

Darstellung der im HErmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen aller betrachteten Quellbereiche in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

6.3.1 Emissionen der Industrie

Einen großen Anteil an den Gesamtemissionen in Niedersachsen haben die Emissionen aus Industrieanlagen (26,5 % bei NO_x und 13 % bei PM₁₀). Die Industrie wird im HErmEliN-Projekt durch die Emissionen der genehmigungspflichtigen Anlagen nach 4. BImSchV [70] repräsentiert bzw. durch die Anlagen, die nach dem Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) berichtspflichtig sind. Über die in diesen Verordnungen berücksichtigten Anlagenarten lassen sich die Emissionen der Anlagen unterschiedlicher Industriezweige genauer beziffern. Hierbei sind die Anlagen zur Wärmezeugung, dem Bergbau und der Energie mit etwa 26,4 kt/a NO_x (Abbildung 17) der mit Abstand größte Emittent von NO_x (ca. 70 % der Gesamt-NO_x-Emissionen der Industrie). Inner-

halb dieser Gruppe dominieren die großen Feuerungsanlagen (> 50 MW; Anteil an den Emissionen etwa 50 %) und die kleinen bis mittleren Verbrennungsmotoranlagen (1 – 10 MW; etwa 28 %).

Hohe NO_x-Jahresfrachten werden auch für Anlagen der Kategorie Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe (ca. 4,8 kt/a, 12,6 %) erreicht. Zusammengenommen erreichen in dieser Gruppe die Zement- und die Glasherstellung einen Anteil von über 70 % an den NO_x-Emissionen. In der Gruppe Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung (ca. 3,7 kt/a, 9,7 %) werden etwa zwei Drittel der NO_x-Emissionen durch das Schmelzen von Erzen und das Warmwalzen von Stahl in Anlagen mit großen täglichen Durchsatzmengen erreicht.

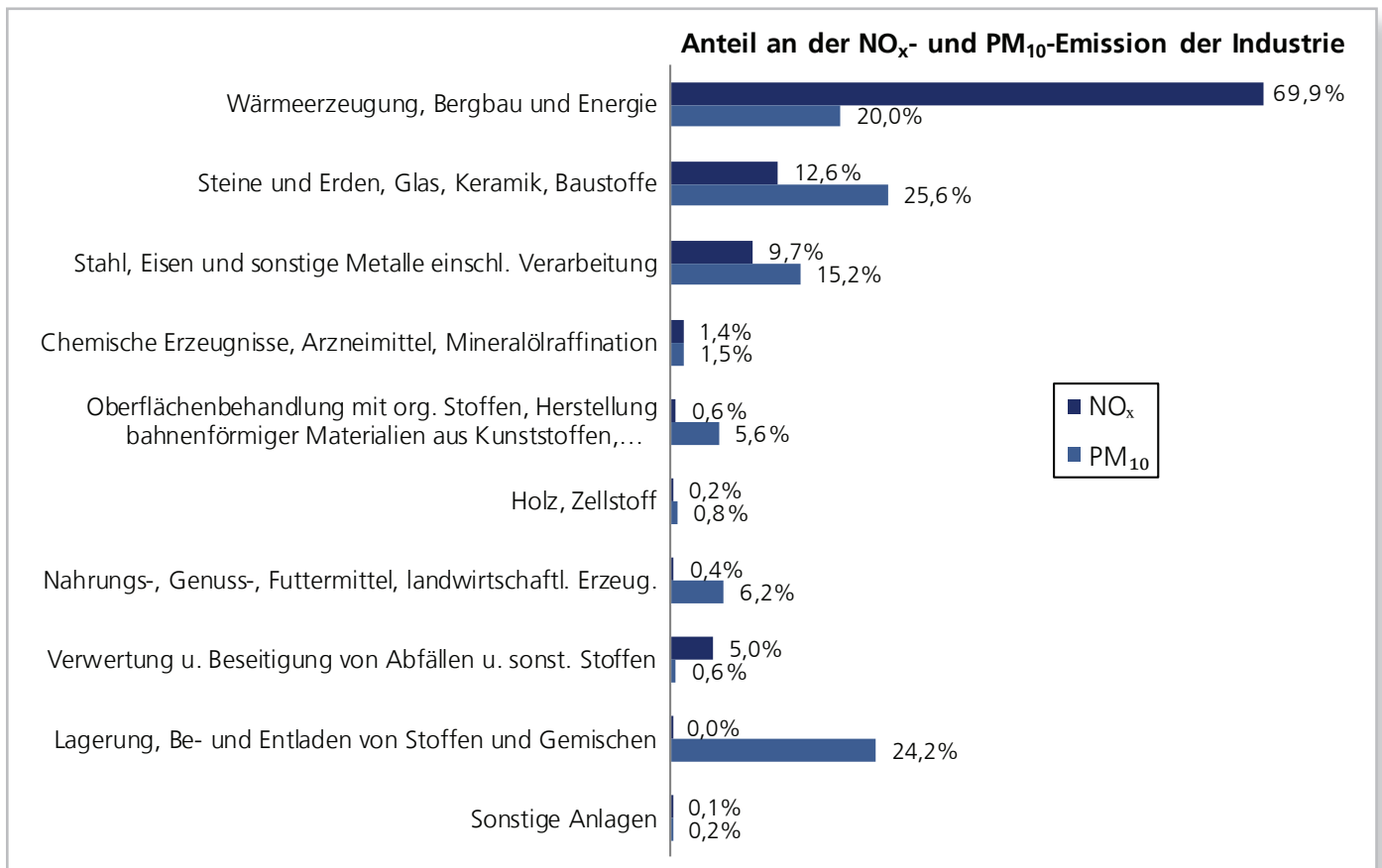


Abbildung 17: Emissionsanteile der Industrie

Prozentuale Anteile von Anlagentypen an den Emissionen von Stickoxiden (NO_x; dunkelblau) und Feinstaub (PM₁₀; blau) der im H_{ERm}ELiN-Projekt verwendeten Daten zu Industrieanlagen aus BUBE-Online, aufgeschlüsselt nach Ordnungsnummer der Anlagenart in der 4. BImSchV

In der Gesamtsumme sind die PM₁₀-Emissionen der Industrie (zusammen mit den Biogasanlagen etwa 4 kt/a) deutlich niedriger als die NO_x-Emissionen (etwa 36,1 kt/a). Auch die Verteilung der Anteile an dieser Gesamtemission ist im Vergleich zu den Stickoxiden deutlich anders ausgeprägt. Jeweils ein Viertel der PM₁₀-Emissionen verteilt sich auf Anlagen der Gruppe Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe (etwa 0,6 kt/a) und auf die Gruppe der Anlagen in denen Lager- und Umschlagsvorgänge von Stoffen und Gemischen (etwa 0,5 kt/a) ablaufen. Die bei den Stickoxidemissionen dominierenden Prozesse der Kategorie Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie haben an den PM₁₀-Emissionen der Industrie lediglich einen Anteil von etwa 20 % (etwa 0,4 kt/a; Abbildung 17).

Während die Stickoxidemissionen zumeist allein aus Verbrennungsprozessen (zur Wärme-, Strom- oder Dampferzeugung, zum Antrieb von Maschinen, o. ä.) stammen, sind Umschlag, Transport und Lagerung von staubenden Mate-

rialien neben der Emission von Staub bei Verbrennungsprozessen zusätzliche Quellen für Staub. Die ebenfalls im BUBE-Datensatz enthaltenen landwirtschaftlichen Großbetriebe, sind in dieser Aufstellung nicht berücksichtigt.

6.3.2 Emissionen der Landwirtschaft

Die Emission von PM₁₀ durch die Landwirtschaft ist in weiten Teilen Niedersachsens von einer eher untergeordneten Bedeutung im Vergleich zu den anderen Quellgruppen für diesen Luftschadstoff. Die hohe Dichte an Betrieben mit Intensivtierhaltungen in den westlichen Bereichen Niedersachsens (Südoldenburg bis zur niederländischen Grenze) sorgt allerdings für hohe PM₁₀-Emissionen, die auch im Vergleich zu den weiteren Quellgruppen sehr hohe Anteile an der Gesamtemission einnehmen. Der Hauptemittent ist die Geflügelhaltung mit 12,4 kt/a PM₁₀, die sich im Wesentlichen auf nur wenige Landkreise konzentriert (Abbildung 18).

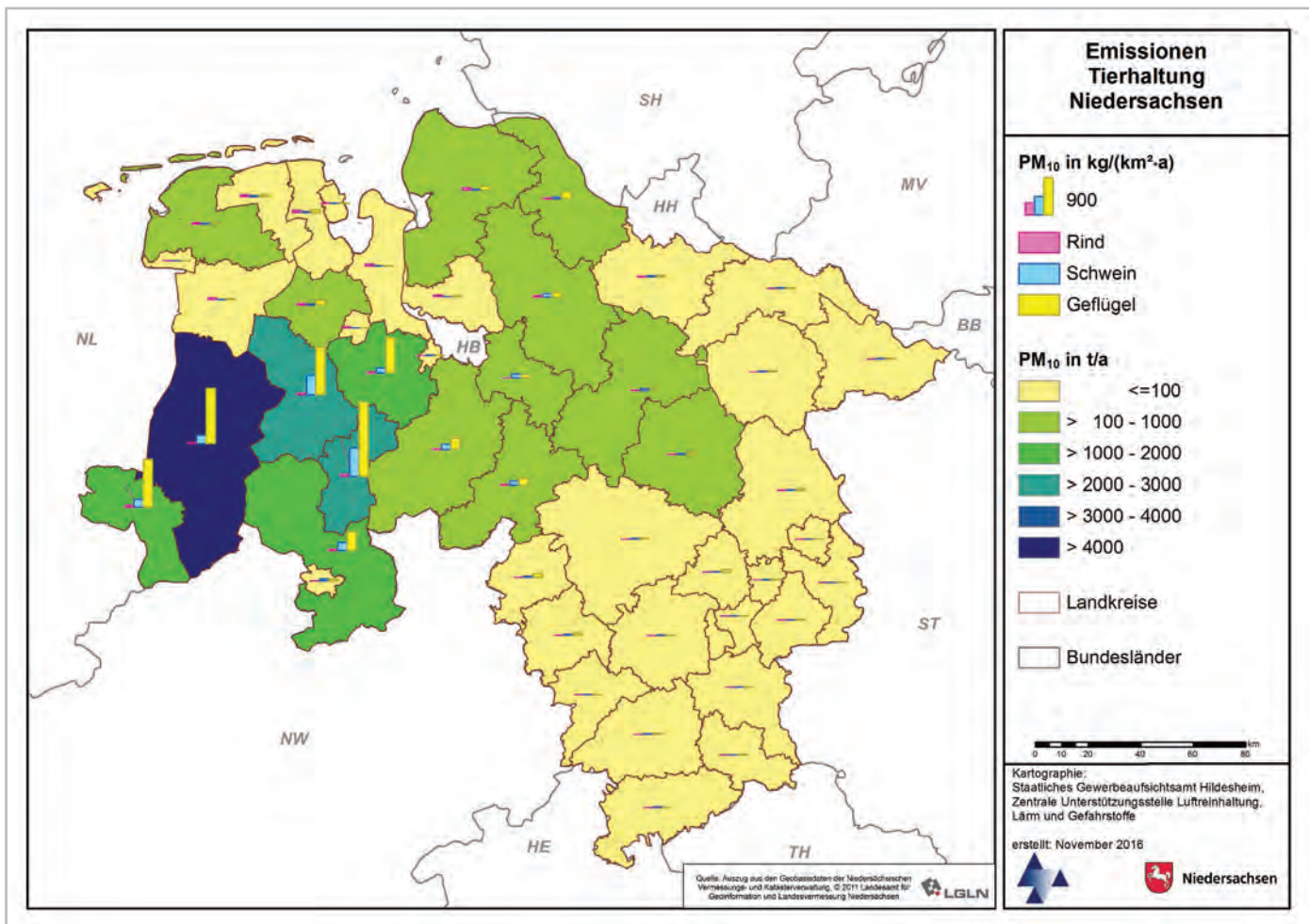


Abbildung 18: PM₁₀-Emission Tierhaltungen auf Landkreisebene

Gesamt-Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen der im HErmEliN-Projekt ermittelten Tierhaltungsbetriebe in t/a und Aufteilung der Emissionsmenge auf die Tierarten Rind, Schwein und Geflügel in kg/(km²*a), jeweils pro Landkreis

Nach den Zahlen des Umweltbundesamts ist die Landwirtschaft mit einem Anteil von etwa 95 % der Hauptemittent von NH₃ in Deutschland [51]. In Niedersachsen liegt der Anteil der Landwirtschaft an den NH₃-Emissionen nach den im HErmEliN-Projekt ermittelten Werten sogar bei etwa 98 % (Tabelle 5). Die Anteile der gehaltenen Tierarten an den aus den Tierhaltungen emittierten NH₃-Mengen verteilen sich in Niedersachsen deutlich anders als im Rest Deutschlands. Während die Schweinehaltung in Niedersachsen mit knapp 46 % den höchsten Anteil an den NH₃-Emissionen aufweist, sind es im bundesweiten Durchschnitt lediglich etwa 25 %. Die Geflügelhaltung (hierzu zählen alle Arten von Geflügel) trägt in Niedersachsen wie auch in der Bundesrepublik zu etwa einem Viertel zu den NH₃-Emissionen bei. Die in Deutschland überwiegende Rinderhaltung (verantwortlich für etwa 61 % der bundesweiten NH₃-Emissionen der Tierhaltungen) besitzt in Niedersachsen

dagegen nur einen Anteil von etwa 30 % an den NH₃-Emissionen der Tierhaltungen in Niedersachsen (Abbildung 19).

Auch bei NH₃ treten die höchsten Emissionsdichten aus der Landwirtschaft in Niedersachsen in den Bereichen Südoldenburg bis zur niederländischen Grenze auf (Abbildung 20). Dort dominieren die NH₃-Emissionen der Schweine- und Geflügelhaltung deutlich. Die Rinderhaltung ist dagegen besonders im Norden entlang der Küste (Grünland- und Weidegebiete) mit sehr hohen Anteilen an der NH₃-Emission der Tierhaltungen vertreten. In den restlichen Landesteilen ergeben sich deutlich niedrigere NH₃-Emissionen der Landwirtschaft im Vergleich zu den zuvor genannten Regionen.

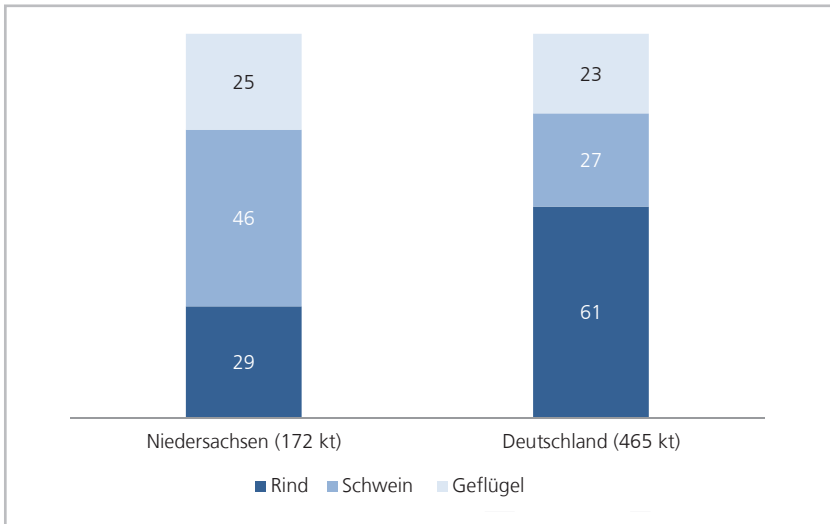


Abbildung 19:
Tierarten und NH₃-Emissionen

Prozentuale Anteile der Tierarten Rind, Schwein und Geflügel an den NH₃-Emissionen aus Tierhaltungen in Niedersachsen 2013 (172 kt) und Deutschland 2014 (465 kt) [52]

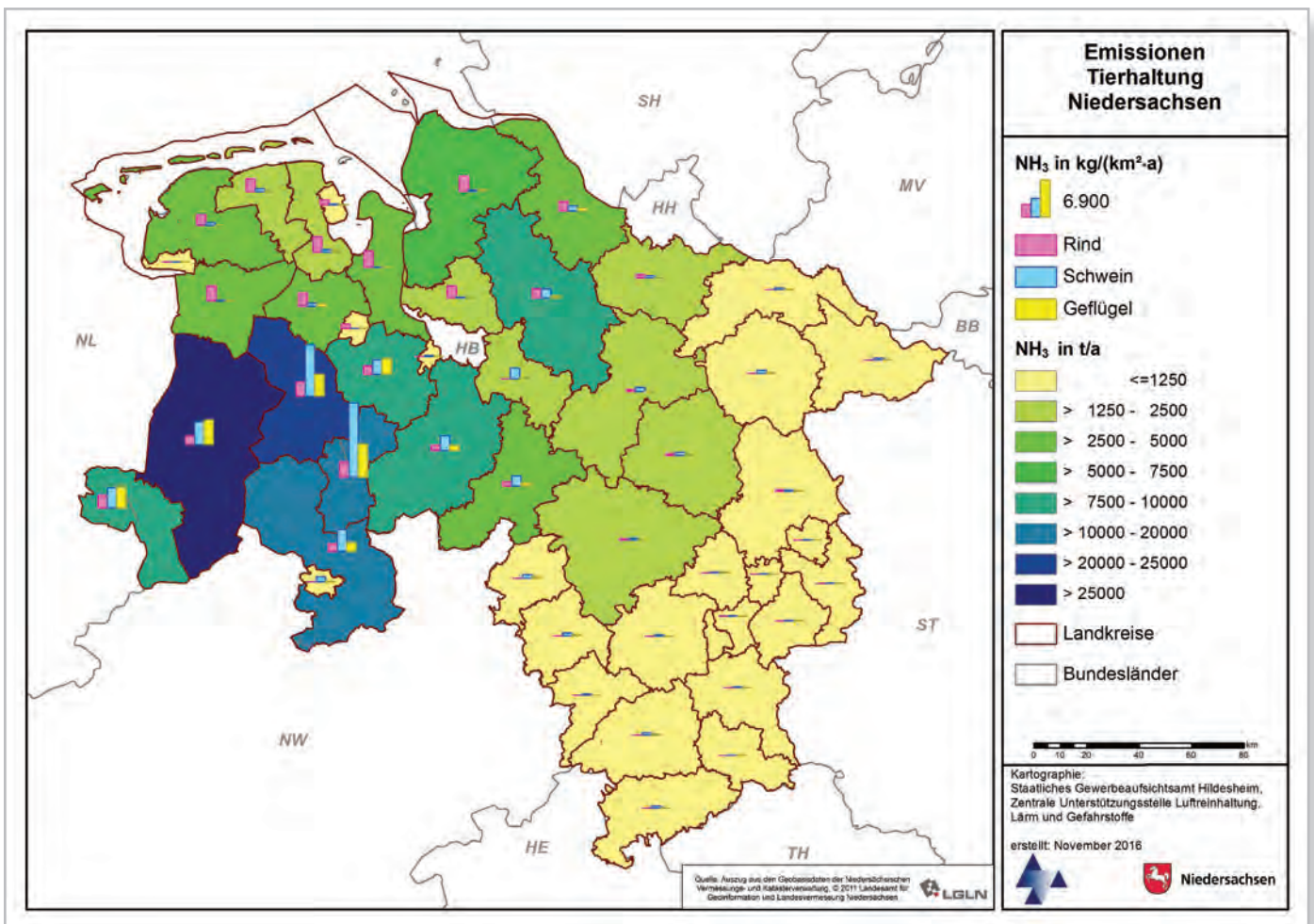


Abbildung 20: NH₃-Emission Tierhaltungen auf Landkreisebene

Gesamt-Ammoniak (NH₃)-Emissionen der im HERmEliN-Projekt ermittelten Tierhaltungsbetriebe in t/a und Aufteilung der Emissionsmenge auf die Tierarten Rind, Schwein und Geflügel in kg/(km²·a), jeweils pro Landkreis

Für die Ausbreitungsrechnung werden alle Emissionen auf ein Rechenraster verteilt (Abschnitt 7.2, Abbildung 51 im Anhang). In dieser Darstellung wird deutlich, welche Bedeutung eine genaue Verortung der Emissionsquellen besitzt. In den Gebieten, in denen eindeutige Zuordnungen der Tierzahlen zu Gebäuden aufgrund der Eingangsdaten möglich waren, ergibt sich ein relativ feingliedriges Bild mit einer sehr heterogenen Verteilung der Emissionen. In den Gebieten, in denen die Auswahl der Tierhaltungsanlagen und die Verteilung der Tierzahlen systematisch auf Grundlage empirischer Daten erfolgte (z. B. im Nordwesten Niedersachsens), wurde die Emission potenziell auf eine zu hohe Anzahl von Gebäuden verteilt. Es kommt hier mithin zu einer gewissen Verschmierung der Emissionen auf die Fläche und folglich zu einer homogeneren Verteilung.

6.3.3 Emissionen des Hausbrands

Die im HErmEliN-Projekt ermittelte mittlere jährliche Emission durch Kleinfeuerungen privater Haushalte und im Bereich von Handel und Gewerbe in Niedersachsen liegt bei ungefähr 10 kt/a NO_x und etwa 2,2 kt/a PM₁₀. Das sind in etwa jeweils 7 % der aus diesem Sektor für Deutschland gemeldeten Emissionen (ca. 135 kt/a NO_x und ca. 30 kt/a PM₁₀ [52]). Gemessen an dem niedersächsischen Anteil an der Bevölkerung in Deutschland, der bei etwa 10 % liegt, sind die im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionen des Hausbrands dahingehend zunächst als plausibel anzusehen.

In den Emissionen pro Einwohner liegen die für Niedersachsen ermittelten Werte für den Hausbrand unter dem deutschlandweiten Durchschnitt und mit 1,26 kg/(EW*a) NO_x und 0,28 kg/(EW*a) PM₁₀ in vergleichbaren Bereichen wie z. B.

die Pro-Kopf-Emissionen des Bundeslandes Rheinland-Pfalz (Tabelle 6 [53]). In diesen Pro-Kopf-Werten sind besonders die niedrigen Werte für das Land Brandenburg auffällig, die bei NO_x lediglich bei einem Drittel der Emissionen des bundesdeutschen Durchschnitts liegen und auch bei PM₁₀ in etwa nur die Hälfte betragen. Diese sind auf die im Land Brandenburg relativ moderne Anlagenstruktur mit modernen Kesseln und größeren Anteilen moderner Anlagentypen mit niedrigen Emissionsfaktoren zurückzuführen. So haben diese modernen Anlagen in privaten Haushalten in Brandenburg einen Anteil von etwa 37 %, während es in Deutschland insgesamt lediglich 11 % sind [51,54].

In Abbildung 53 und Abbildung 54 im Anhang sind die räumlichen Verteilungen der ermittelten Emissionsmengen für NO_x und PM₁₀ auf dem beschriebenen Rechenraster dargestellt. Es ergeben sich die aufgrund der höheren Dichte von Feuerstätten zu erwartenden höheren Gesamtemissionswerte in den Städten im Vergleich zum Umland. Daher sind auch die landkreisbezogenen Emissionen in den einwohnerstarken Landkreisen (Abbildung 21 und Abbildung 22) höher. Diese Verteilung entspricht jedoch nicht dem tatsächlichen Heizbedarf, der sich dagegen in der Darstellung der Emissionen pro Einwohner widerspiegelt (Zahlen in Abbildung 21 und Abbildung 22).

Hier wird deutlich, dass die höchsten absoluten Emissionsmengen von NO_x und PM₁₀ aus dem Hausbrand in den einwohnerstarken Landkreisen (Region Hannover, Osnabrück) entstehen. Die einwohnerbezogenen Emissionsmengen (auf Landkreisebene) weisen jedoch nahezu umgekehrte Verhältnisse auf mit wesentlich höheren Pro-Kopf-Emissionen in den einwohnerschwächeren Landkreisen (Abbildung 21 für NO_x und Abbildung 22 für PM₁₀).

Tabelle 6: Pro-Kopf-Emissionen Hausbrand

Vergleich der Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) aus dem Hausbrand in kg/(Einwohner*a) für ausgewählte Bundesländer [53–56] und Deutschland [51] aus unterschiedlichen Bezugsjahren

| | Bezugsjahr | NO _x in kg/(Einwohner*a) | PM ₁₀ in kg/(Einwohner*a) | PM _{2,5} in kg/(Einwohner*a) |
|----------------------------|------------------|--|---|--|
| Brandenburg | 2013 | 0,591 | 0,189 | 0,176 |
| Sachsen | 2010 | 1,098 | 0,313 | 0,28 |
| Nordrhein-Westfalen | 2012 | 0,861 | 0,151 | 0,142 |
| Rheinland-Pfalz | 2012 | 1,35 | 0,231 | 0,219 |
| Baden-Württemberg | 2014 | 1,023 | 0,265 | -- |
| Niedersachsen | 2013-2016 | 1,262 | 0,28 | 0,25 |
| Deutschland | 2014 | 1,556 | 0,296 | 0,281 |

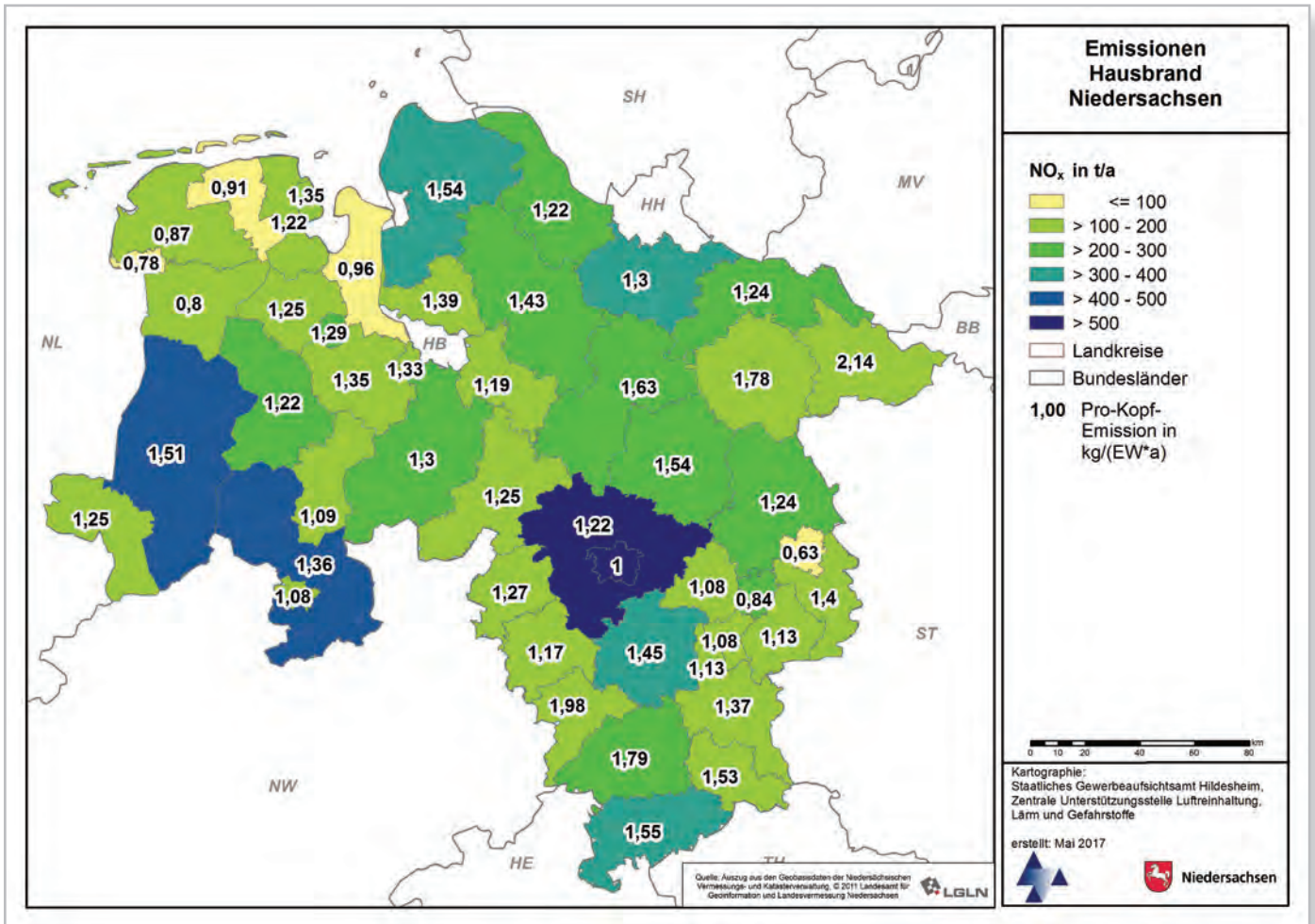


Abbildung 21: NO_x-Emissionen Hausbrand

Stickoxid (NO_x)-Emissionen des Hausbrands in t/a (flächenhafte Darstellung) und in kg/(EW*a) (Zahlenwerte) auf Landkreisebene

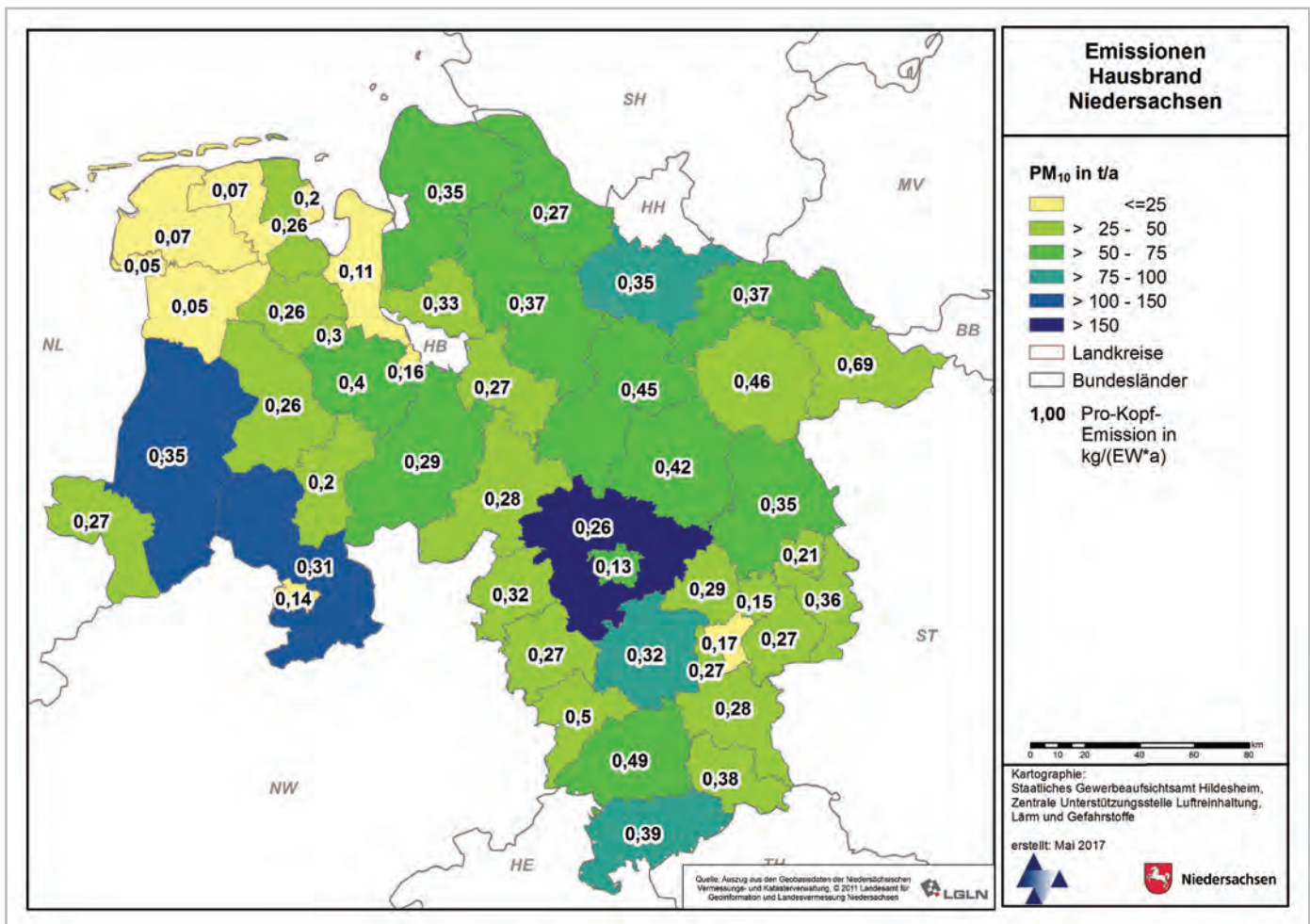


Abbildung 22: PM₁₀-Emissionen Hausbrand

Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen des Hausbrands in t/a (flächenhafte Darstellung) und in kg/(EW*a) (Zahlenwerte) auf Landkreisebene

Durch den höheren Anteil von Blockbebauung und Mehrfamilienhäusern mit Gemeinschaftsfeuerstätten in den kreisfreien Städten und in den Landkreisen mit einem hohen Anteil städtischer Bevölkerung sinkt der Heizbedarf und damit der effektive Verbrauch für die Beheizung von Wohnraum. In den vorwiegend ländlich geprägten Landkreisen dominieren im Wesentlichen kleinere Wohneinheiten (häufig freistehende Ein- bis Zweifamilienhäuser) mit separaten Feuerstätten. Der Bedarf an Heizenergie pro Kopf ist mithin in diesen Gebieten höher. Was für PM₁₀ zusätzlich auffällt, sind die höheren Emissionen pro Landkreis im östlichen und südlichen Bereich des Landes. Diese heben sich zum Teil deutlich von den niedrigen Gesamtemissionen pro Landkreis im Nordwesten des Landes ab. Der Hauptgrund für diese Verteilung kann der vermehrte Einsatz von Holz als Brennstoff in den östlichen und südlichen Bereichen Niedersachsens sein, während im Nordwesten des Landes vorwiegend Gas als Energieträger im Hausbrand genutzt wird.

6.3.4 Emissionen des Verkehrs

6.3.4.1 Straßenverkehr

Durch die in Abschnitt 6.1.4.1 beschriebene Methodik (s. auch [8]) ergibt sich für das Jahr 2011 auf den Straßen in Niedersachsen eine Gesamtfahrleistung von rund $87 \cdot 10^9$ km/a. Die daraus hergeleiteten Emissionen des Straßenverkehrs liegen bei etwa 61 kt/a NO_x und rund 5 kt/a PM₁₀. In Abbildung 23 sind die Emissionsmengen des Straßenverkehrs nach der Lage bzw. der Funktion der Straße aufgeführt. Die Fahrleistungen sind zusätzlich nach den jeweiligen Anteilen der Fahrzeugarten in Abbildung 24 für verschiedene Gebiete aufgeführt.

Wie in Abbildung 23 zu sehen, hat der Verkehr auf den Autobahnen in Niedersachsen den größten Anteil an den NO_x-Straßenverkehrsemissionen (41 %). Ursache hierfür ist



einerseits das hohe Verkehrsaufkommen auf den Autobahnen an sich (Anteil an der Gesamtfahrleistung: 31 %) und der hohe Anteil schwerer Nutzfahrzeuge an der Fahrleistung auf den Autobahnen (20 %; Abbildung 24). Gänzlich anders verhält es sich bei den C_nH_m-Emissionen. Die-

se werden zum größten Teil innerorts verursacht (75 %; Abbildung 23), bei einem Fahrleistungsanteil von lediglich 29 %. Hier sind es in erster Linie die Kaltstarts sowie in geringerem Maße auch Verdampfungsemissionen der Fahrzeuge im Stillstand, die zu dieser Verteilung beitragen.

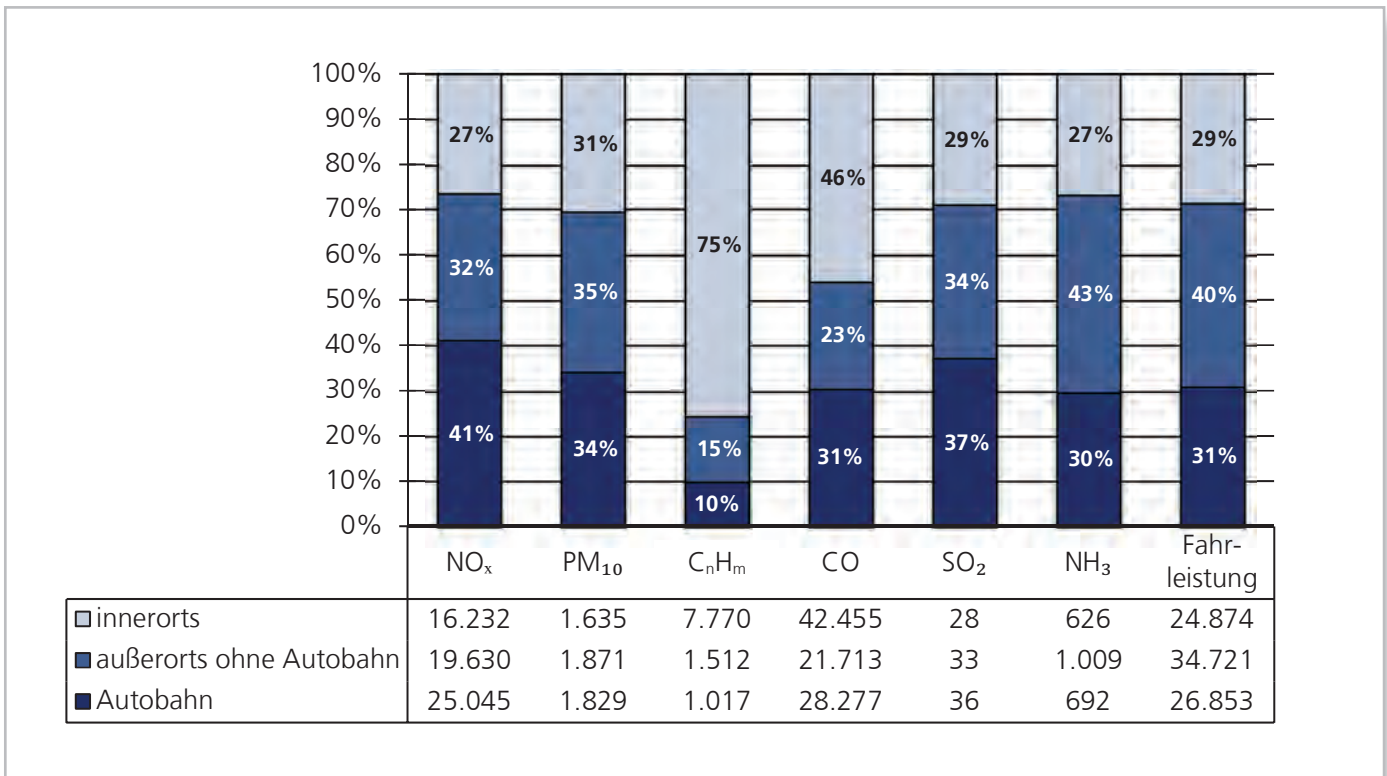


Abbildung 23: Emissionen und Fahrleistung Straßenverkehr

Motorbedingte Emissionen des Straßenverkehrs von NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO, SO₂ und NH₃ in t/a und Fahrleistung in 10⁶ km/a des Straßenverkehrs in Niedersachsen, jeweils unterschieden nach Lage der Straße für das Bezugsjahr 2011

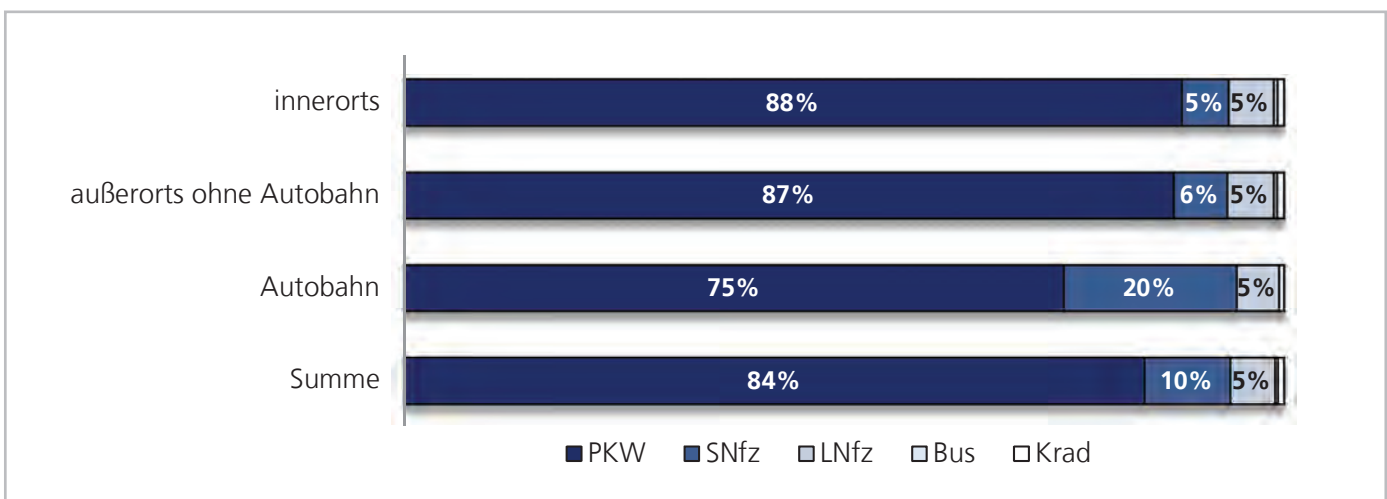


Abbildung 24: Fahrleistungsanteile der Fahrzeugarten Straßenverkehr

Prozentuale Anteile der Fahrleistungen verschiedener Fahrzeugarten in Niedersachsen unterschieden nach Lage der Straße 2011

Insgesamt betrachtet wird aufgrund ihres sehr hohen Anteils an der Gesamtfahrleistung (84 %; Abbildung 24) das Gros der Straßenverkehrsemissionen durch PKW verursacht. Hinzu kommt allerdings gleichsam ein hoher Anteil an den Emissionen durch die schweren Nutzfahrzeuge, obwohl ihr Fahrleistungsanteil insgesamt bei lediglich etwa 10 % liegt (Abbildung 24).

Die Verteilung der Straßenverkehrsemission im vorgegebenen Raster ist für NO_x und PM₁₀ in Abbildung 55 und Abbildung 56 (im Anhang) dargestellt. Die Grafiken verdeutlichen, dass sich die Emissionen entlang der Autobahnen und in dicht besiedelten Gebieten sowohl bei PM₁₀ als auch bei NO_x deutlich von den Emissionen in den ländlichen Bereichen abheben.

Die niedersächsischen Straßenverkehrsemissionen zeigen ähnliche Verhältnisse wie die Straßenverkehrsemissionen in Katastern anderer Länder (Abbildung 25). Auf den Straßen in Niedersachsen wird mit einer Fahrleistung von ca. 87*10⁹ km/a ungefähr 12 % der bundesdeutschen Fahrleistung im Straßenverkehr erbracht. Einen entsprechenden Anteil tragen die Straßenverkehrsemissionen Niedersachsens auch zu den Emissionen des Straßenverkehrs aller Bundesländer bei. Innerhalb der einzelnen Schadstoffe weisen die niedersächsischen Straßenverkehrsemissionen ähnliche Verhältnisse wie die Straßenverkehrsemissionen der Länder Baden-Württemberg [55] und Sachsen [57] auf.

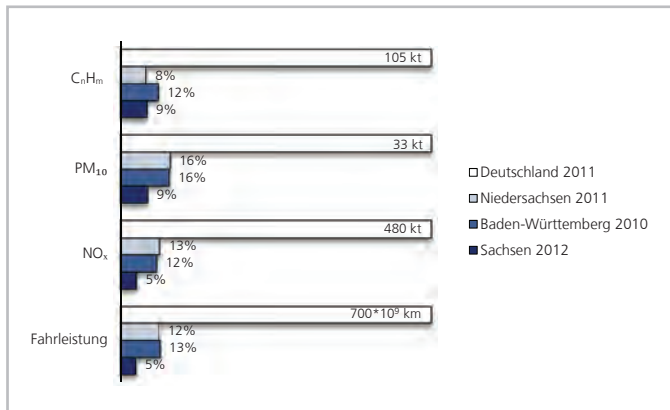


Abbildung 25: Fahrleistung und Emissionen Straßenverkehr
 Prozentuale Anteile verschiedener Bundesländer an der Gesamtfahrleistung in Deutschland (700*10⁹ km/a) und an der gemeldeten Emission des Straßenverkehrs in Deutschland von NO_x (480 kt/a), PM₁₀ (33 kt/a) und C_nH_m (105 kt/a) für unterschiedliche Bezugsjahre

6.3.4.2 Schienenverkehr

Die im HermEliN-Projekt ermittelten Emissionen des Schienenverkehrs für das Jahr 2012 belaufen sich auf circa 0,9 kt/a PM₁₀ und etwa 1,3 kt/a NO_x. Die zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten erlauben die Aufteilung der Anteile der Emissionen in einen Anteil der DB AG und einen Anteil der Dritten. Diese Aufteilung ist in Abbildung 26 für die Emissionen der Stoffe NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO und SO₂ dargestellt. Neben den verbrennungsbedingten Emissionen entstammt ein großer Teil der PM₁₀-Emissionen aus dem Abrieb von Bremsen, Gleisen und Oberleitungen. Hierfür liegen lediglich die Daten der DB AG-eigenen Fahrten vor. Dennoch wird bereits hier ersichtlich, dass die PM₁₀-Emissionen des Schienenverkehrs deutlich von den Abriebemissionen dominiert werden (Abbildung 26).

Die Verteilung der Emissionen des Schienenverkehrs in der Fläche ist in den Abbildung 57 und Abbildung 58 im Anhang für NO_x und PM₁₀ dargestellt. Die Verteilung der Strecken über die Landesfläche ist vergleichsweise gleichmäßig, wobei sich das Netz in der Umgebung von größeren Städten verdichtet und im Nordwesten ausdünnert. Auf den Strecken von Hannover in das nördliche Harzvorland und von Oldenburg bis nach Wilhelmshaven heben sich erhöhte NO_x-Emissionen deutlich von den ansonsten relativ gleichmäßig verteilten Emissionen ab. Auf diesen Strecken werden vermehrt Dieseltriebzüge eingesetzt.

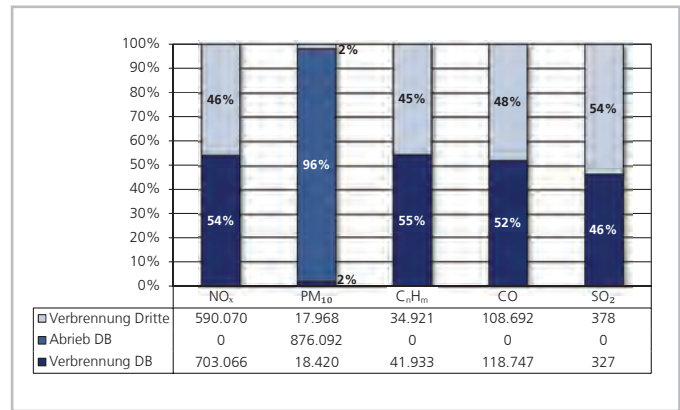


Abbildung 26: Emissionen Schienenverkehr
 Emissionen des Schienenverkehrs von NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO, und SO₂ in t/a in Niedersachsen, jeweils unterschieden nach Emissionen der DB AG und Emissionen Dritter für das Bezugsjahr 2012



Für den Schienenverkehr kann anhand des Vergleichs der Streckenlänge des Schienennetzes in Niedersachsen mit der Länge des Schienennetzes in ganz Deutschland auf die Relation der Emissionen Niedersachsens eingegangen werden. Etwa 11 % des Schienennetzes in Deutschland verlaufen in Niedersachsen. Die hier ermittelten verbrennungsbedingten Emissionen des Schienenverkehrs in Niedersachsen liegen für PM₁₀ bei etwa 12 % der gesamtdeutschen Emissionen und für NO_x bei etwa 9 %. Die Emissionen durch Abrieb können aufgrund der fehlenden deutschlandweiten Daten nicht in den Vergleich einbezogen werden. In den Bundesländern Sachsen und Baden-Württemberg ergeben sich aus den Angaben der Emissionskataster der Länder im Vergleich zur Streckenlänge deutlich höhere Emissionen als in Niedersachsen (Abbildung 27 [55,57]).

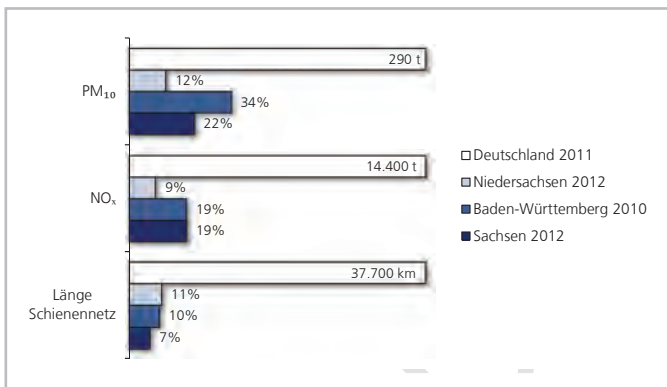


Abbildung 27: Länge Schienennetz & Emissionen Schienenverkehr
 Prozentuale Anteile verschiedener Bundesländer an der Gesamtlänge des Schienennetzes in Deutschland (37*10³ km) und an der gemeldeten Emission des Schienenverkehrs in Deutschland von NO_x (14.400 t/a) und PM₁₀ (290 t/a)

6.3.4.3 Schiffsverkehr

Für das Jahr 2012 fallen in Niedersachsen Emissionen in Höhe von etwa 9 kt/a NO_x und rund 0,6 kt/a PM₁₀ durch die Schifffahrt an (Tabelle 7). Hierbei überwiegt für die meisten Schadstoffe der Anteil der Emissionen des Seeverkehrs gegenüber dem Anteil der Binnenschifffahrt. Das liegt einerseits an dem höheren Transportaufkommen des Seeverkehrs [8]. Andererseits liegt es speziell bei den SO₂-Emissionen auch daran, dass in der Binnenschifffahrt ausschließlich schwefelfreier Kraftstoff eingesetzt wird. Dies ist bei der Seeschifffahrt noch nicht der Fall.

Die Emissionen aus dem Schiffsverkehr auf der Elbe und der Weser dominieren die Emissionen der Schifffahrt in Niedersachsen (Abbildung 28). Der Schiffsverkehr auf dem Mittellandkanal trägt erheblich zu den Emissionen der Schifffahrt bei, während die Emissionen aus dem Verkehr auf den westdeutschen Kanälen und der Ems eine untergeordnete Rolle spielen. Auf der Elbe und der Weser fallen die Emissionen des Seeverkehrs deutlich höher aus als die Emissionen der Binnenschifffahrt.

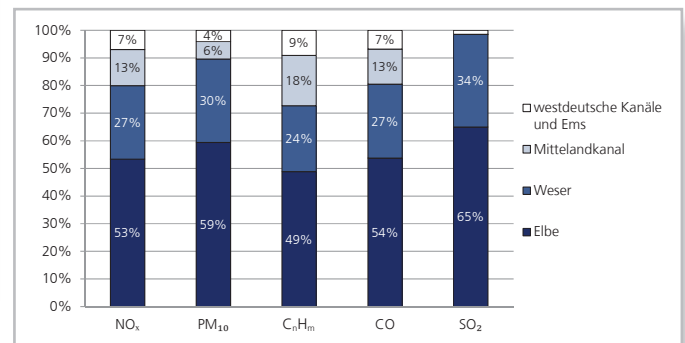


Abbildung 28: Emissionsanteile Schifffahrtswege Schifffahrt
 Prozentuale Anteile der Schifffahrtswege an den Emissionen der Schifffahrt von NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO, und SO₂ in Niedersachsen

| | | NO _x in kg/a | PM ₁₀ in kg/a | C _n H _m in kg/a | CO in kg/a | SO ₂ in kg/a |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|------------------|----------------------------|
| Seeverkehr | Elbe | 3.630.901 | 321.673 | 147.210 | 690.285 | 897.371 |
| | Weser | 1.875.133 | 166.124 | 76.025 | 356.489 | 463.436 |
| | westdeutsche Kanäle und Ems | 80.469 | 7.129 | 3.263 | 15.298 | 19.888 |
| | Summe | 5.586.503 | 494.926 | 226.498 | 1.062.073 | 1.380.695 |
| Binnenschifffahrt | Elbe | 1.296.668 | 41.434 | 97.710 | 234.504 | 391 |
| | Weser | 573.647 | 18.330 | 43.227 | 103.745 | 173 |
| | Mittellandkanal | 1.207.752 | 38.593 | 91.010 | 218.423 | 364 |
| | westdeutsche Kanäle und Ems | 563.628 | 18.010 | 42.472 | 101.933 | 170 |
| Summe | 3.641.695 | 116.367 | 274.418 | 658.604 | 1.098 | |
| Summe Niedersachsen | | 9.228.198 | 611.293 | 500.916 | 1.720.677 | 1.381.792 |

Tabelle 7: Emissionen Schifffahrt

Emissionen der Schifffahrt von NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO und SO₂ in kg/a in Niedersachsen, unterschieden nach Binnenschifffahrt und Seeverkehr sowie aufgeteilt auf die Schifffahrtswege

Ähnlich wie schon für den Straßen- und Schienenverkehr können auch die niedersächsischen Emissionen der Binnenschifffahrt über einen Leistungsbezug in Relation zu den Emissionen in Deutschland und anderen Bundesländern gestellt werden. Auf den niedersächsischen Bundeswasserstraßen werden ca. 13 % der deutschlandweiten Transportleistung der Binnenschifffahrt erbracht. Der Anteil der PM_{10} -Emission der niedersächsischen Binnenschifffahrt liegt mit 19 % an der gesamtdeutschen Emission etwas höher, ebenso die NO_x -Emissionen mit 15 %. Abbildung 29 zeigt, dass die Transportleistung und die Emissionen der Binnenschifffahrt in Niedersachsen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Baden-Württembergs [58] liegen. Im Gegensatz dazu fallen die Emissionen der Binnenschifffahrt in Nordrhein-Westfalen [59] bedeutend höher aus als in Niedersachsen. Das ist insoweit plausibel, als auch der Güterumschlag und die Transportleistung der Binnenschifffahrt in Nordrhein-Westfalen um ein Vielfaches höher sind als in Niedersachsen und Baden-Württemberg [45]. Es fällt auf, dass die Emissionen der Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Niedersachsen zusammen die deutschlandweiten Emissionen der Binnenschifffahrt (Abbildung 29) übersteigen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Methoden zur Ermittlung der Emissionen der Binnenschifffahrt unterschiedlich sind und verschiedene Unsicherheiten aufweisen.

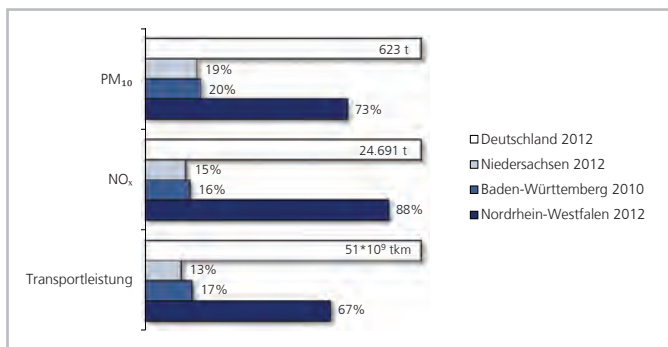


Abbildung 29: Transportleistung und Emissionen Schifffahrt
Prozentuale Anteile verschiedener Bundesländer an der Transportleistung der Schifffahrt in Deutschland (51 * 10⁹ tkm) und an der gemeldeten Emission des Schienenverkehrs in Deutschland von NO_x (24.691 t/a) und PM_{10} (623 t/a)

Die Verteilung der Schifffahrtsemission im vorgegebenen Raster ist für NO_x und PM_{10} im Anhang in Abbildung 59 und Abbildung 60 dargestellt. Die hohen Emissionen im Bereich des Seeverkehrs entlang der Elbe und der Weser heben sich für NO_x und PM_{10} deutlich von den Emissionen den restlichen Bereiche ab, was in erster Linie auf die hohen Transportaufkommen auf diesen bedeutenden Verkehrswegen zurückzuführen ist.

6.3.4.4 Offroadverkehr

Da die Emissionen des Offroadverkehrs aufgrund fehlender detaillierterer Daten lediglich auf den Zulassungszahlen der landwirtschaftlichen Zugmaschinen und durchschnittliche Betriebsstundenzahlen bzw. daraus abgeleiteten Kraftstoffverbräuchen beruhen und sich zusätzlich die räumliche Verteilung der Emissionen auf die Feldblockdaten der Landkreise beschränkt, sind weitergehende Auswertungen der im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionen des Offroadverkehrs wenig aussagekräftig. Vielmehr spiegeln die Ergebnisse (Abbildung 61 und Abbildung 62 im Anhang) die Verteilung, Größen und überwiegende Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen wieder. Dieses Ergebnis ist für die Quelle des Offroadverkehrs der Landwirtschaft in diesem Rahmen als zufriedenstellend anzusehen.

Die weiteren zu den Emissionen des Offroadverkehrs beitragenden Quellen (mobile Maschinen der Forstwirtschaft, des Militärs, auf Betriebsgeländen und auf Baustellen) konnten bislang und an dieser Stelle für das HErmEliN-Projekt nicht erfasst werden und werden Bestandteil weiterer Untersuchungen werden.



7. Modellrechnung

Zur Darstellung der großräumigen Verteilung der Vorbelastung durch Luftschadstoffe werden mithilfe von Ausbreitungsrechnungen durch das Rechenmodell REM-CALGRID Karten für die Luftschadstoffe NO_x, NO₂, PM₁₀ und O₃ erstellt (Abschnitt 8). Die Modellberechnungen werden in einem dreidimensionalen Gitter für jede Stunde eines repräsentativen Bezugsjahres ausgeführt. Als Ergebnis steht eine mittlere jährliche Verteilung der Immissionen für das gesamte Landesgebiet für alle im Modell abgebildeten Luftinhaltsstoffe. Als Grundlage dienen hierfür

- die ermittelten Emissionen aller Quellgruppen für Niedersachsen sowie deren räumliche Verteilung (Abschnitt 4),
- die Emissionen von Quellen außerhalb Niedersachsens,
- die meteorologischen Daten für ein repräsentatives Bezugsjahr (Abschnitt 7.1) sowie
- die Topographie als Einflussgröße auf die Ausbreitung von Luftbeimengungen.

Die Emissionen von Luftschadstoffen aus Quellen außerhalb Niedersachsens werden aus bestehenden Datensätzen des verwendeten Modells abgeleitet. Für die Einbeziehung der Topographie in das Rechenmodell wird ein modellinternes Höhenmodell mit einer horizontalen Auflösung von etwa 1 km genutzt sowie die Landnutzungsdaten aus CORINE [15], die modellintern angepasst wurden.

7.1 Meteorologische Daten

Für die Berechnung einer Immissionsbelastung durch Luftschadstoffe sind neben den Emissionen die meteorologischen Bedingungen im gesamten dreidimensionalen Modellraum erforderlich. Diese entscheiden, wie ein Stoff von der Quelle in der Atmosphäre fortbewegt wird. Windrichtung und Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen spielen hierbei die ausschlaggebende Rolle. Hinzu kommen die thermische Schichtung, die Temperatur und der Wassergehalt der Atmosphäre. Diese Faktoren sind für das Abläufen chemischer Prozesse wesentlich und beeinflussen so die Umwandlung von Stoffen und auch deren Auswaschung aus der Atmosphäre und deren anschließende Deposition an Oberflächen (s. Abschnitt 5).

Die Erstellung der dreidimensionalen meteorologischen Eingangsdaten für die Ausbreitungsmodellierung mit dem RCG-Rechenmodell für Niedersachsen wurde mit dem an der Freien Universität Berlin entwickelten diagnostischen Analysesystem TRAMPER (Tropospheric Realtime Applied Procedures for Environmental Research [60,61]) vorgenommen.

Das TRAMPER-System basiert auf einer Interpolation auf Basis der meteorologischen Datensätze des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und weiterer in der World Meteorological Organisation (WMO) organisierter Wetterdienste. Die meteorologischen Felder wurden über verschiedene Grenzschichtmodule (Massekonsistenz, Hang-, Berg- und Talwind usw.) an die hoch aufgelöste Topographie und Landnutzung angepasst. Das Ergebnis sind dreidimensionale Felder von Windkomponenten, Temperatur und Feuchte, zweidimensionale Felder der meteorologischen Bodenbeobachtungen und der Grenzschichtparameter einschließlich Mischungshöhen.

Diese meteorologischen Felder stehen für jede Gitterzelle des Rechengebiets und für jede Stunde eines Jahres zur Verfügung. Mit diesen Daten werden die Ausbreitungsrechnungen für die Bestimmung der Immissionsvorbereitung durchgeführt.

Für Berechnungen der zusätzlichen Immissionsbelastung durch den Kfz-Verkehr in bebauten Straßenräumen wird von der ZUS LLG das Screeningmodell IMMIS^{luft} eingesetzt. Die meteorologischen Eingangsdaten werden dem Modell in Form von Dateien sogenannter Kopplungskoeffizienten zur Verfügung gestellt. Zur Bereitstellung dieser Kopplungskoeffizienten wurde ebenfalls die Daten des TRAMPER-Systems genutzt.

Hierfür wurden auf Basis der wie beschrieben modellierten Meteorologiefelder Teilgebiete von Niedersachsen abgeleitet, für die räumlich repräsentative Kopplungskoeffizienten erstellt wurden. Für die Einteilung Niedersachsens in Bereiche ähnlicher Windsituationen wurde eine Clusteranalyse über die Windrichtungsverteilungen durchgeführt. Obwohl schon in Bereichen mit relevanten orographischen Strukturen, wie z. B. Tälern, eine solche Clusterung die Variationen in den konkreten Windrichtungsverteilungen in der Regel nicht in der realen Differenzierung abbilden kann, ist der Einsatz einer Clusterung zur Vereinfachung und Vereinheitlichung sachgerecht.

Das Ergebnis dieser Clusterung ist die Aufteilung des Landesgebiets Niedersachsens in acht Cluster mit meteorologisch ähnlichen Bedingungen (Abbildung 30). Als repräsentatives Bezugsjahr für die Kopplungskoeffizienten wurde das Jahr 2011 bestimmt [5].

Die Windrosen in Abbildung 31 und Abbildung 32 stellen in 10°-Schritten die Häufigkeit der Windrichtung differenziert nach Windgeschwindigkeitsklassen für die acht räumlichen Cluster dar.

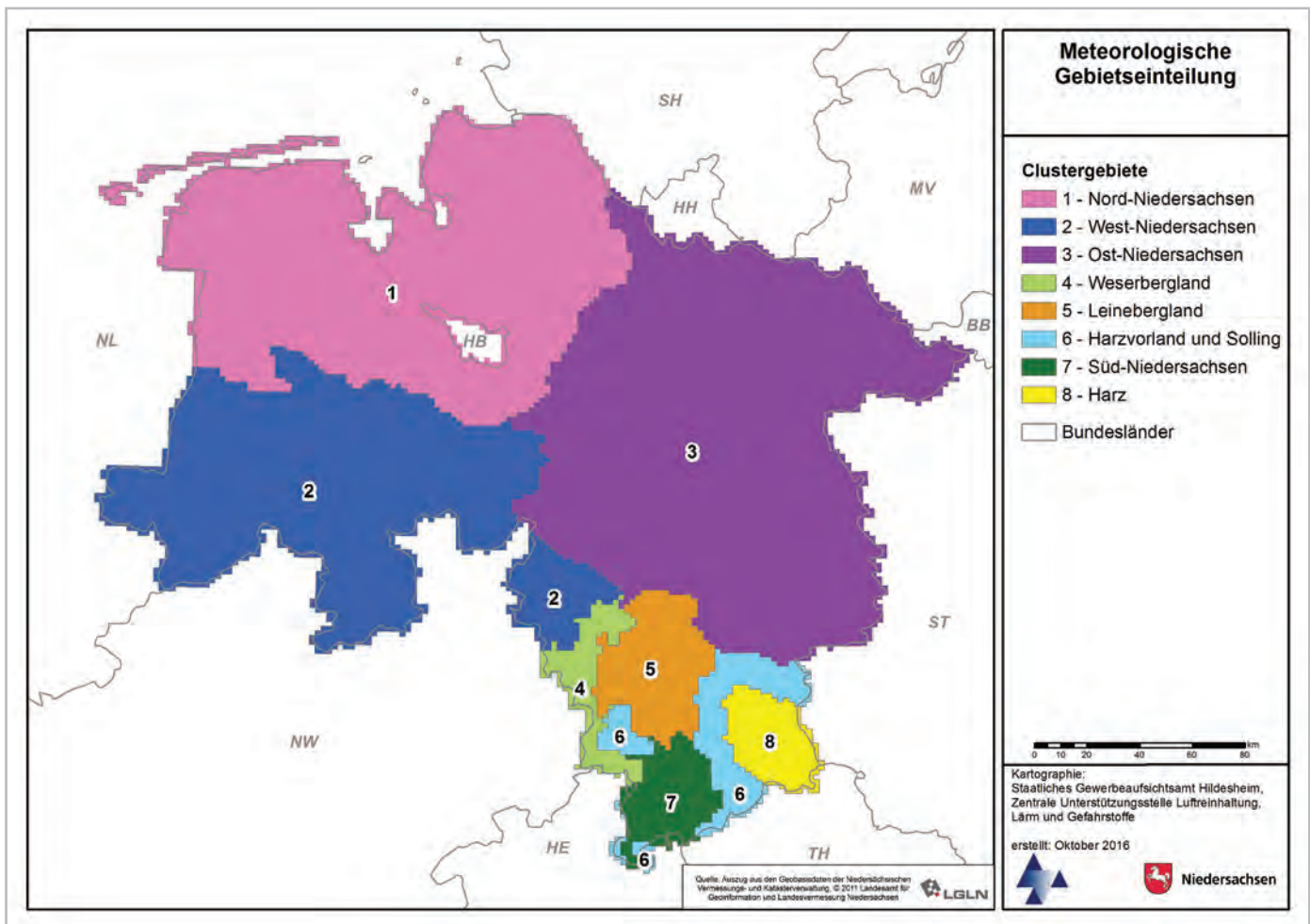


Abbildung 30: Meteorologische Gebietseinteilung

Räumliche Aufteilung Niedersachsens in acht meteorologisch ähnliche Clustergebiete, Nord-Niedersachsen (1), West-Niedersachsen (2), Ost-Niedersachsen (3), Weserbergland (4), Leinebergland (5), Harzvorland und Solling (6), Süd-Niedersachsen (7) und Harz (8)

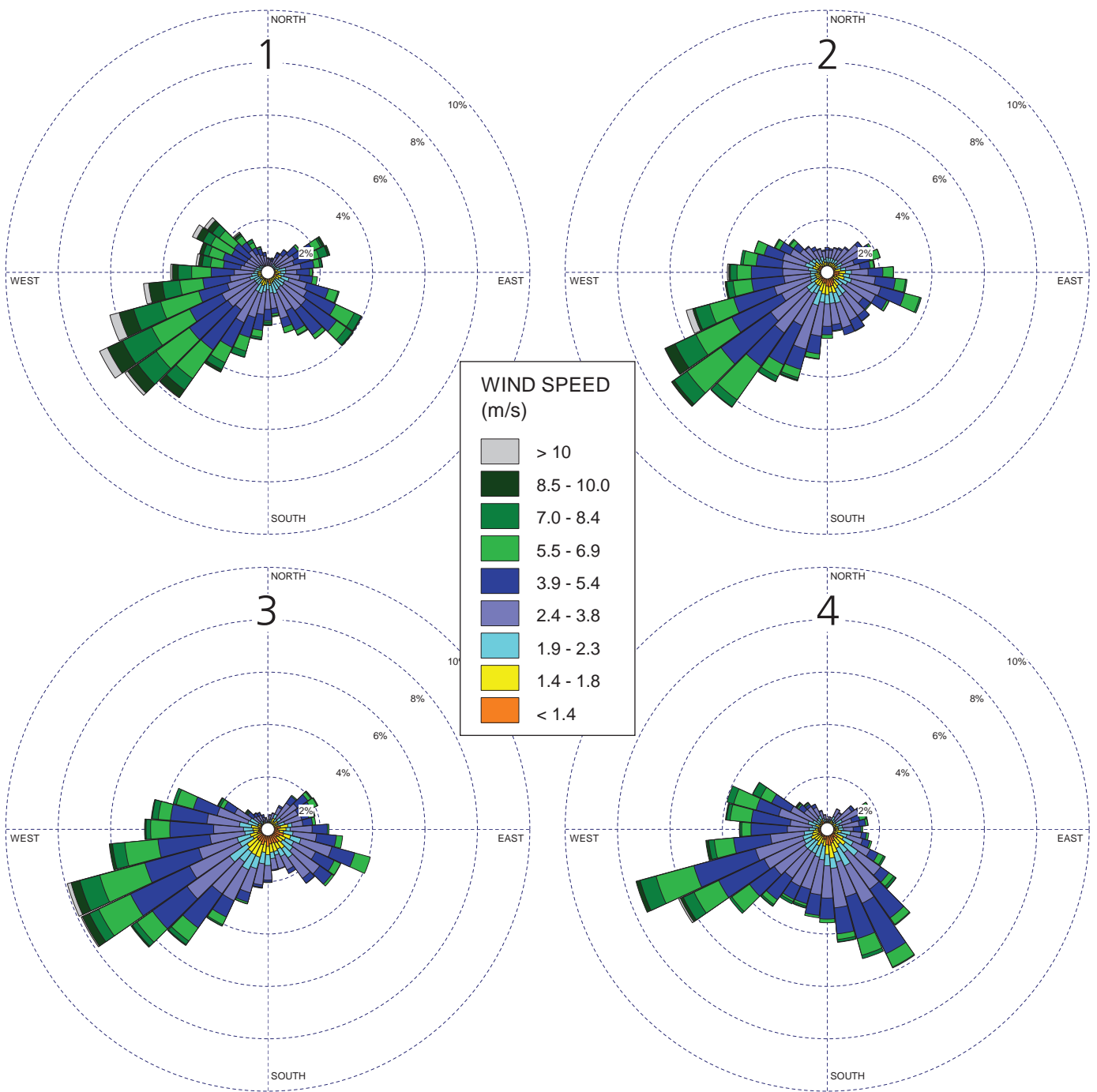


Abbildung 31: Windrosen Cluster 1-4

Prozentuale Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen (< 1,4 m/s; 1,4 – 1,8 m/s; 1,9 – 2,3 m/s; 2,4 – 3,8 m/s; 3,9 – 5,4 m/s; 5,5 – 6,9 m/s; 7,0 – 8,4 m/s; 8,5 – 10,0 m/s; > 10 m/s) in Abhängigkeit zur Windrichtung in 10°-Klassen für die Clustergebiete Nord-Niedersachsen (1), West-Niedersachsen (2), Ost-Niedersachsen (3) und Weserbergland (4)

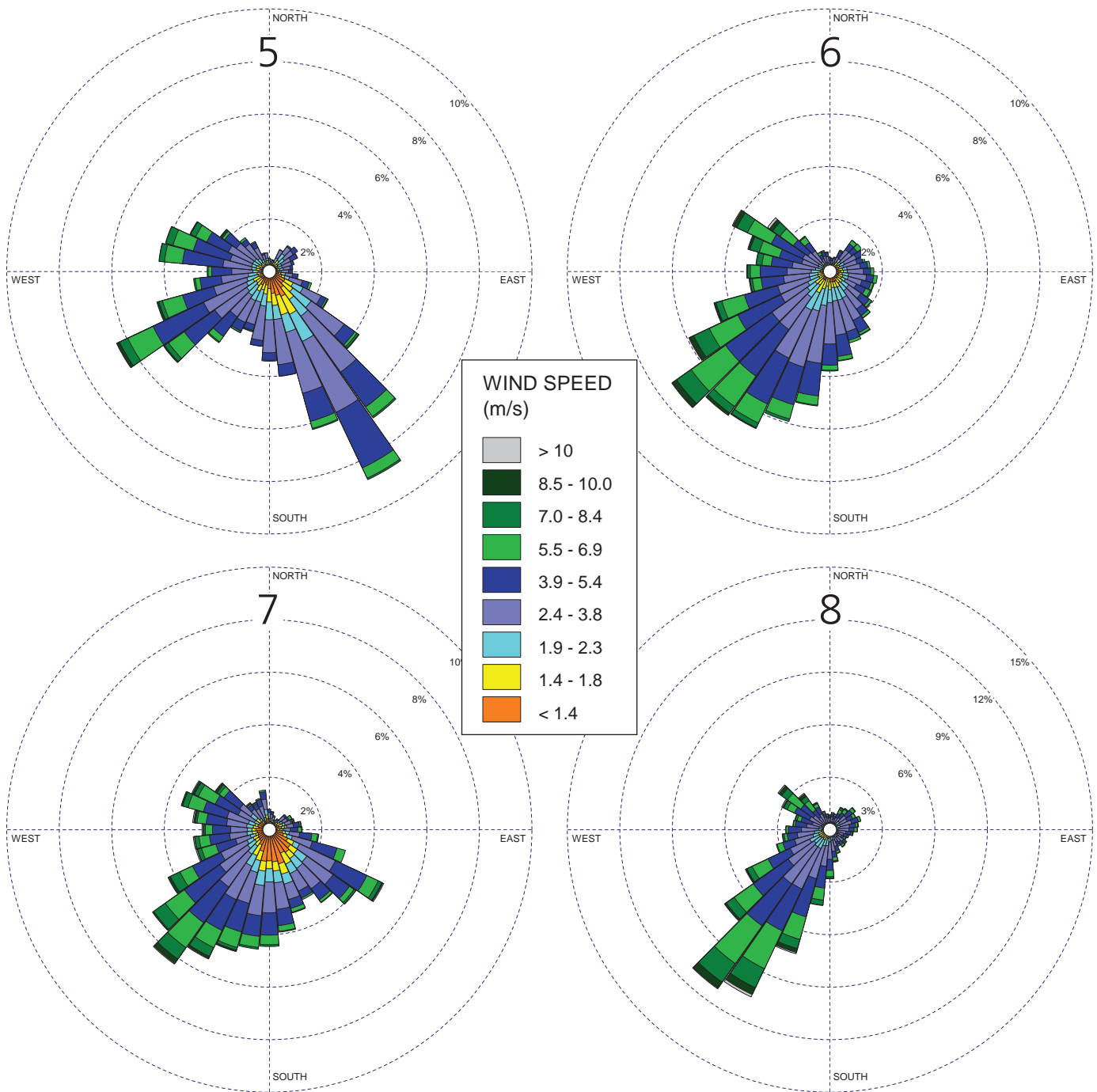


Abbildung 32: Windrosen Cluster 5-8

Prozentuale Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen (< 1,4 m/s; 1,4 – 1,8 m/s; 1,9 – 2,3 m/s; 2,4 – 3,8 m/s; 3,9 – 5,4 m/s; 5,5 – 6,9 m/s; 7,0 – 8,4 m/s; 8,5 – 10,0 m/s; > 10 m/s) in Abhängigkeit zur Windrichtung in 10°-Klassen für die Clustergebiete Leinebergland (5), Harzvorland und Solling (6), Süd-Niedersachsen (7) und Harz (8)



7.2 Rechenmodell, Berechnungsgebiete und Rechengitter

Das REM-CALGRID-Modell (RCG) ist ein dreidimensionales chemisches Transportmodell. Es wird zur Bestimmung der Luftqualität und des Eintrags von Schadstoffen in den Boden genutzt. Die räumliche Ausdehnung erstreckt sich von der europaweiten und der nationalen Raumskala (Auflösungen von ca. 30 km * 30 km bis circa 7 km * 7 km) bis in die urbane Raumskala (Ballungsgebiet, Auflösung von ca. 1 km * 1 km und feiner). Die Berechnungen erfolgen auf Stundenbasis für ein ganzes Jahr. Betrachtet werden alle relevanten Spurenstoffe in der Gasphase und deren chemische Reaktionen sowie die Emission und Bildung luftgetragener Stäube und deren Deposition [62].

Das RCG-Modell wurde vielfach auf europäischer, nationaler und Bundesländerebene im Rahmen der Erstellung von Luftreinhalteplänen, der Berechnung von Hintergrundkonzentrationen, der Analyse von emissionsmindernden Maßnahmen oder zur Analyse grenzüberschreitender Schadstofftransporte eingesetzt. Das Modell wird laufend qualitätsgesichert und darauf aufbauend fortgeschrieben und damit auf den neuesten wissenschaftlichen Stand gebracht [63,64].

Für Niedersachsen erfolgt die Anwendung in vier Modellgebieten mit steigender Auflösung:

- die europäische Skala, Auflösung 0,5° Länge und 0,25° Breite
- die überregionale Skala (Deutschland, Nest 1, Auflösung 0,125° Länge und 0,0625° Breite)
- die regionale Skala (ganz Niedersachsen und Randgebiete der umliegenden Bundesländer, Nest 2, Auflösung 0,03125° Länge und 0,015625° Breite)
- die regional/urbane Skala (südöstlicher Teil von Niedersachsen, Auflösung 0,0078125° Länge und 0,00390625° Breite).

Der Rechenlauf mit der jeweils gröberen Auflösung liefert die Randbedingungen für den Lauf mit der jeweils höheren Auflösung (sog. Nesting-Verfahren). Mit dieser Diskretisierungsabstufung ist gewährleistet, dass die Übergänge zwischen den Modellgebieten (Nestern) ohne zu große Konzentrationssprünge an den jeweiligen Nest-Grenzen abgebildet werden können. Dies ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine angemessene Berechnung des Ferntransports nach Niedersachsen. Details zu der Gitterschachtelung sind u. a. in [62] und [63] zu finden (Abbildung 33).

Für die überregionalen Berechnungen (Europa und Deutschland) wurden die im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens erhobenen Emissionen verwendet. Eine Übersicht zu diesen Emissionen ist Jörß et al. [65] zu entnehmen. Die Emissionen in Niedersachsen wurden entsprechend der in Abschnitt 6 bzw. im Bericht Methodik der Emissionsermittlung [8] genannten Methodik ermittelt und in das Rechenmodell übertragen.

Die ermittelten Emissionen werden für jede Rasterzelle und jede Höhengschicht aufsummiert und an das Rechenmodell übertragen. Für die Emissionen der Punktquellen wird deren effektive Quelhöhe verwendet. Die Emissionen der weiteren Quellgruppen (Landwirtschaft, Hausbrand, Verkehr) werden in die unterste Modellschicht (0-25 m ü .Gr.) eingebracht. Das Modell verlangt jahresspezifische Emissionsdaten, unterteilt nach einer beliebigen Anzahl von Quellgruppen. Für jede Gruppe werden im Modell ausgehend von den Jahreswerten stündliche Emissionen abgeleitet. Die dazu verwendeten Monats-, Tages- und Stundenfaktoren werden in diesem Fall vom Modell vorgegeben und berücksichtigen die Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Emissionen der einzelnen Quellgruppen [62]. Die im Anhang (Abbildung 51 bis Abbildung 62) gezeigten Darstellungen der für Niedersachsen ermittelten Emissionen zeigen jeweils die auf das Raster übertragenen jährlichen Emissionsmengen.

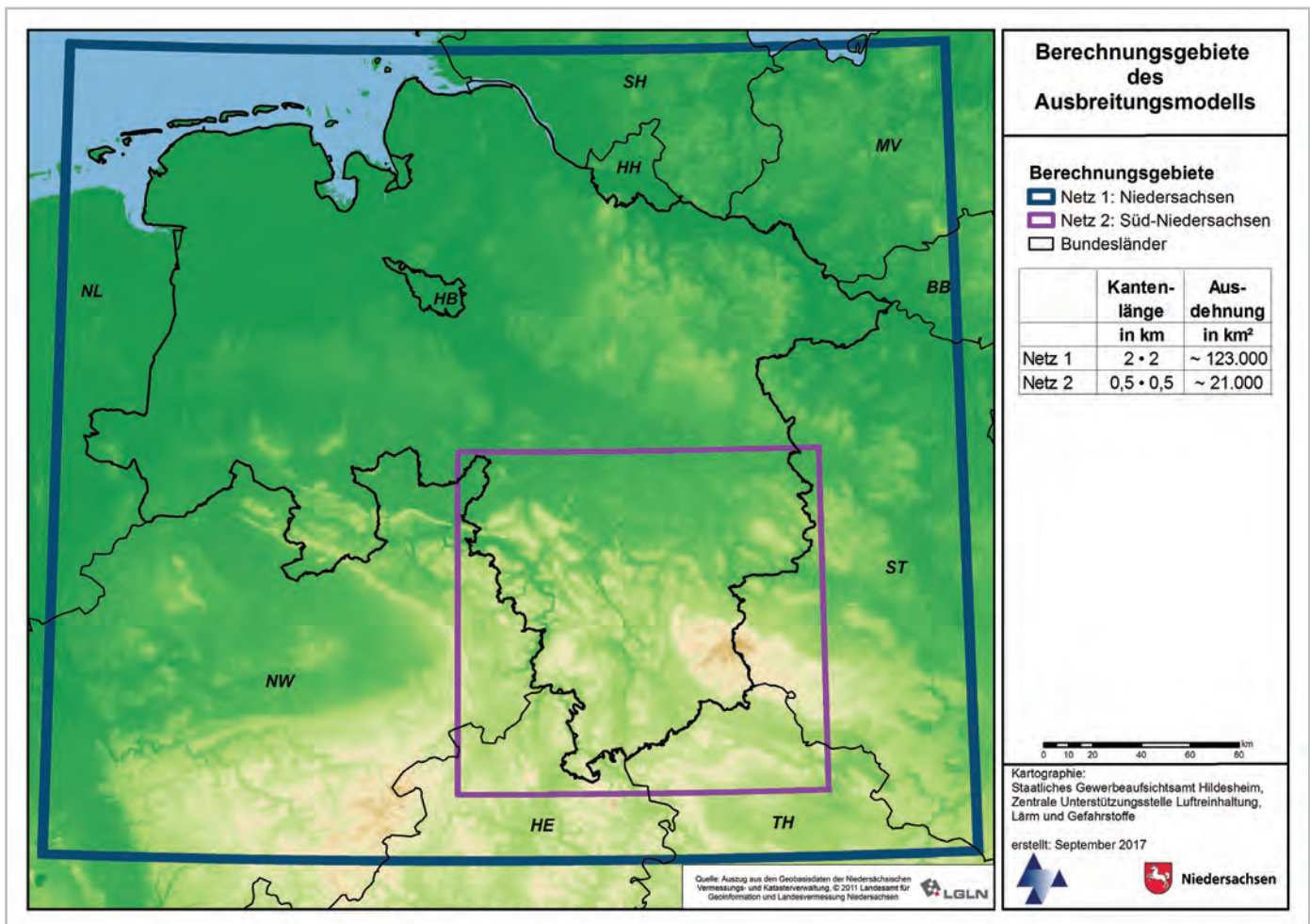


Abbildung 33: Gitterstruktur des Ausbreitungsmodell

Aufteilung des niedersächsischen Landesgebiets in Rechengebiete mit einer Kantenlänge der einzelnen Rechengzellen von 2 km * 2 km (innerhalb des blauen Rahmens) und einer Kantenlänge von 0,5 km * 0,5 km (innerhalb des lila Rahmens)

7.3 Assimilation der Modellergebnisse an Stationsmessdaten

Die auf Grundlage der Ausbreitungsrechnung erzielten flächendeckenden Immissionen werden mit den realen Messdaten der Messstationen der Lufthygienischen Überwachung Niedersachsen (LÜN) abgeglichen. Dieser Abgleich geschieht mithilfe des Auswertesystems FLADIS (Flächenhafte Darstellung der Immissionssituation). Hierfür müssen Modell- und Messdaten in einem mehrstufigen Prozess aufeinander abgestimmt werden. Die Kopplung der Modell-

daten mit den in die Fläche interpolierten Messdaten wird dann für jede Stunde des Bezugsjahres durchgeführt. Im Szenario ohne anthropogene Emissionsquellen in Niedersachsen entfällt der Abgleich mit interpolierten Messdaten des LÜN.

Details zu dem Prozess der Assimilation der Modell- an die Messdaten mit FLADIS sind im zugehörigen IVU-Bericht [10] zu finden. Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung und dem darauf folgenden Anpassungsprozess werden in Abschnitt 8.1 dargestellt und analysiert.



8. Ergebnisse der Modellrechnung

Die im HErmEliN-Projekt durchgeführten Berechnungen der mittleren jährlichen Immissionsbelastung durch Luftschadstoffe wurden für die regionale Skala (Niedersachsen gesamt) und zusätzlich für die regional/urbane Skala (Süd-Niedersachsen) durchgeführt. Im Anschluss erfolgte eine Assimilation der Modelldaten an die Messdaten des LÜN-Stationsnetzes für das Bezugsjahr 2011. Das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung sind die großräumigen Verteilungen der mittleren jährlichen Immissionen für verschiedene Luftschadstoffe. Es resultieren verschiedene räumliche Muster in dieser Verteilung der Immissionen auf die in Abschnitt 8.1 näher eingegangen wird.

Für jede Gitterzelle der Rechenraster mit 2 km * 2 km (Niedersachsen) und 0,5 km * 0,5 km (südliches Niedersachsen) liegt für die betrachteten Luftschadstoffe NO_x, NO₂, PM₁₀ und O₃ ein Jahresmittelwert vor. Wie in Abschnitt 7.2 beschrieben, bilden die Ergebnisse des gröberen Rasters (2 km * 2 km) die Randbedingungen des feinmaschigeren Rasters (0,5 km * 0,5 km), das daher auch vollständig innerhalb des gröberen Rasters enthalten ist (Abbildung 33). Im Folgenden wird, wo dies aufgrund der Überlagerung der Rechengitter möglich ist, jeweils auf die berechneten Werte des höher aufgelösten Gitters (0,5 km * 0,5 km) eingegangen. Generell werden die Werte der bodennächsten Schicht des Rechenmodells (0-25 m ü. Gr.) betrachtet.

Des Weiteren wurde zur Abschätzung des Einflusses von Quellen außerhalb Niedersachsens ein Szenario berechnet, bei dem die anthropogenen Emissionen in Niedersachsen auf Null reduziert wurden. Dieses Szenario wurde für die regionale Skala (Niedersachsen gesamt) durchgeführt (Abbildung 33) und wird in Abschnitt 8.2 näher betrachtet.

8.1 Immissionen auf Basis der HErmEliN-Daten

8.1.1 Räumliche Verteilung

Für die Berechnung der Gesamtimmission wurden die zuvor beschriebenen Emissionen für die Quellgruppen Industrie, Landwirtschaft, Hausbrand, Straßen, Schienen und Offroadverkehr sowie Schifffahrt für Niedersachsen (Abschnitt 6) verwendet. Ergänzt wurde diese Datenbasis um die Emissionen aus den weiteren Quellgruppen in und außerhalb Niedersachsens, die nicht im Rahmen des HErmEliN-Projektes ermittelt werden konnten. Diese stammen aus anderen Datenquellen. Mit diesen Emissionsdaten wurden Ausbreitungsrechnungen für jede Stunde eines vollständigen Jahres durchgeführt und die daraus resultierenden Modellergebnisse an die stündlichen Messergebnisse der Stationen des LÜN des Bezugsjahres 2011 angenähert (Abschnitt 7.3).

Die höchsten mittleren jährlichen NO_x-Immissionen werden im Umfeld der Städte Bremen, Bremerhaven, Hannover, Lingen, Oldenburg, Osnabrück und Wolfsburg erreicht (Abbildung 34). Ebenso ist der Einfluss höherer Emissionen grenznaher Städte und Gebiete außerhalb Niedersachsens, wie z. B. Hamburg und nördlich der Elbe in Schleswig-Holstein (Einfahrt Nord-Ostsee-Kanal) durch hohe NO_x-Immissionskonzentrationen nahe der Landesgrenze erkennbar.

Die Flussläufe von Elbe (flussabwärts ab Hamburg) und Weser (flussabwärts ab Bremen) sowie der Verlauf der verkehrsstarken Autobahnen A1, A2, A7 und A27 zeichnen sich durch höhere NO_x-Immissionen im Vergleich zu ihrem jeweiligen Umland ab. Die niedrigsten mittleren jährlichen NO_x-Immissionskonzentrationen (< 10 µg/m³) finden sich im südlichen Niedersachsen im Bereich des Sollings und des Harzes.

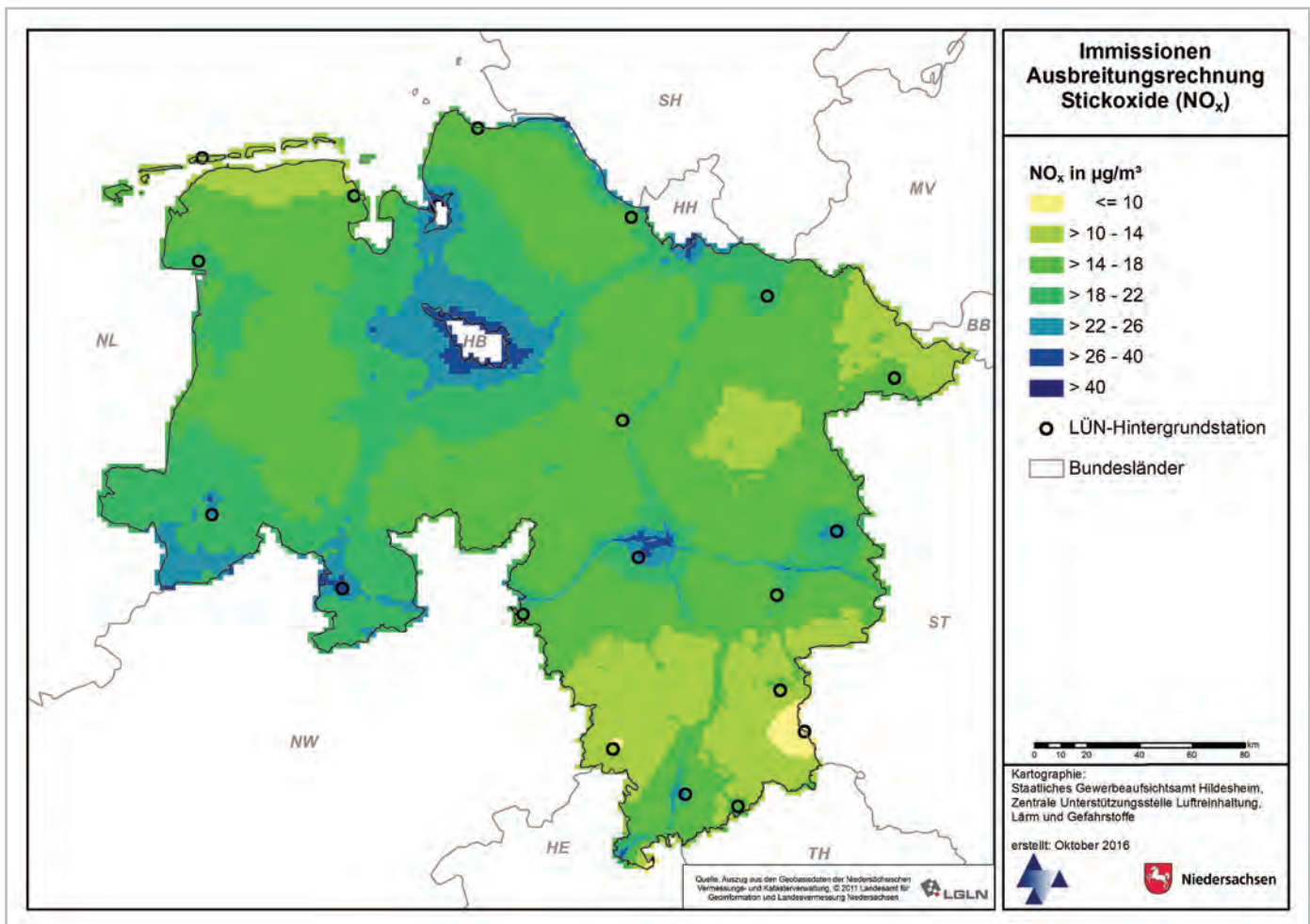


Abbildung 34: NO_x-Immissionen

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Stickoxid (NO_x)-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) auf Basis der im HERmEliN-Projekt ermittelten Emissionen, dargestellt auf den Rechenrastern von 2 km * 2 km (Niedersachsen) und 0,5 km * 0,5 km (südliches Niedersachsen; s. Abbildung 33)

Die mittleren jährlichen NO₂-Immissionskonzentrationen zeigen dieselbe räumliche Struktur wie die NO_x-Immissionen. Landesweit liegen die berechneten mittleren jährlichen NO₂-Immissionen bei Werten zwischen 5 und 28 µg/m³ NO₂ (Mittelwert 12 µg/m³) im ganz Niedersachsen einschließenden größeren Rechengitter mit einer Zellgröße von 2 km * 2 km. Im höher aufgelösten Rechengitter treten zusätzlich höhere Einzelwerte auf.

Die höchsten NO₂-Immissionen zeigen sich auch hier innerhalb sowie im Umfeld von größeren Städten sowie entlang der Autobahnen und Schifffahrtswege. Die niedrigsten NO₂-Immissionen finden sich mit Werten unter 10 µg/m³ im südlichen Niedersachsen (Harz und Leine- und Weserbergland) sowie im östlichen Bereich des Landes (Wendland, Abbildung 35).

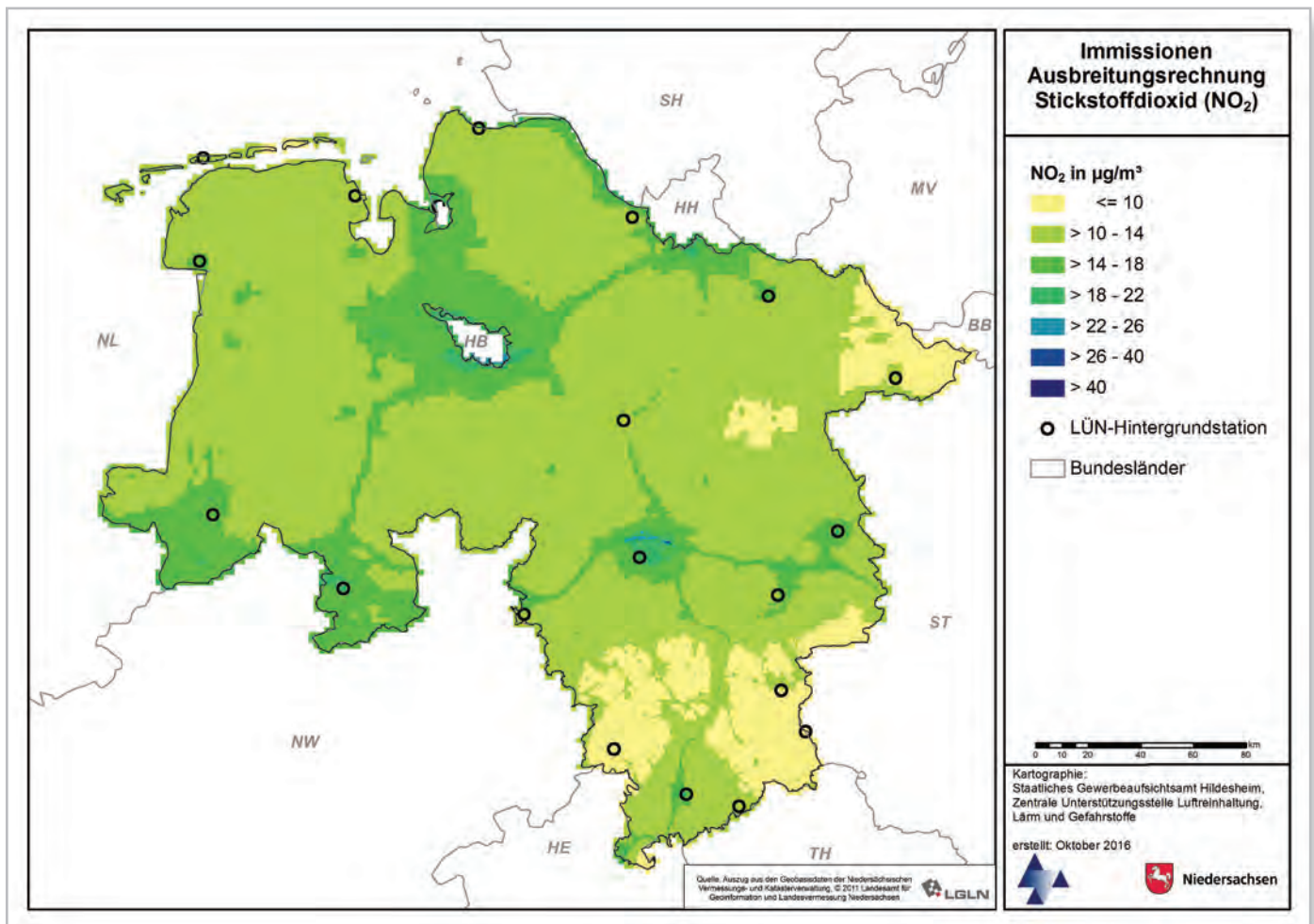


Abbildung 35: NO₂-Immissionen

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Stickstoffdioxid (NO₂)-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) auf Basis der im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionen, dargestellt auf den Rechenrastern von 2 km * 2 km (Niedersachsen) und 0,5 km * 0,5 km (südliches Niedersachsen; s. Abbildung 33)

Generell liegt die Werteverteilung der berechneten mittleren jährlichen PM₁₀-Immissionskonzentration im gesamten Landesgebiet zwischen 10 und 29 µg/m³ PM₁₀ (im Gebietsmittel 17 µg/m³). Die räumliche Verteilung dieser Immissionen zeigt Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Vergleich zur Verteilung der Stickoxidimmissionen. Zwar sind auch hier in und in der Umgebung größerer Städte hohe PM₁₀-Immissionskonzentrationen zu sehen, allerdings finden sich die tatsächlich höchsten Werte im südwestlichen Nieder-

sachsen, flächig über die Landkreise Emsland, Cloppenburg, Vechta und Grafschaft Bentheim verteilt. Im Vergleich zu ihrer direkten Umgebung heben sich die Autobahnen und größeren Schifffahrtswege nicht ab. Lediglich entlang der Elbe (ab Hamburg flussabwärts) werden erhöhte Immissionskonzentrationen berechnet. Insgesamt treten die niedrigsten mittleren jährlichen PM₁₀-Immissionskonzentrationen im Süden von Niedersachsen und speziell im Harz auf (Abbildung 36).

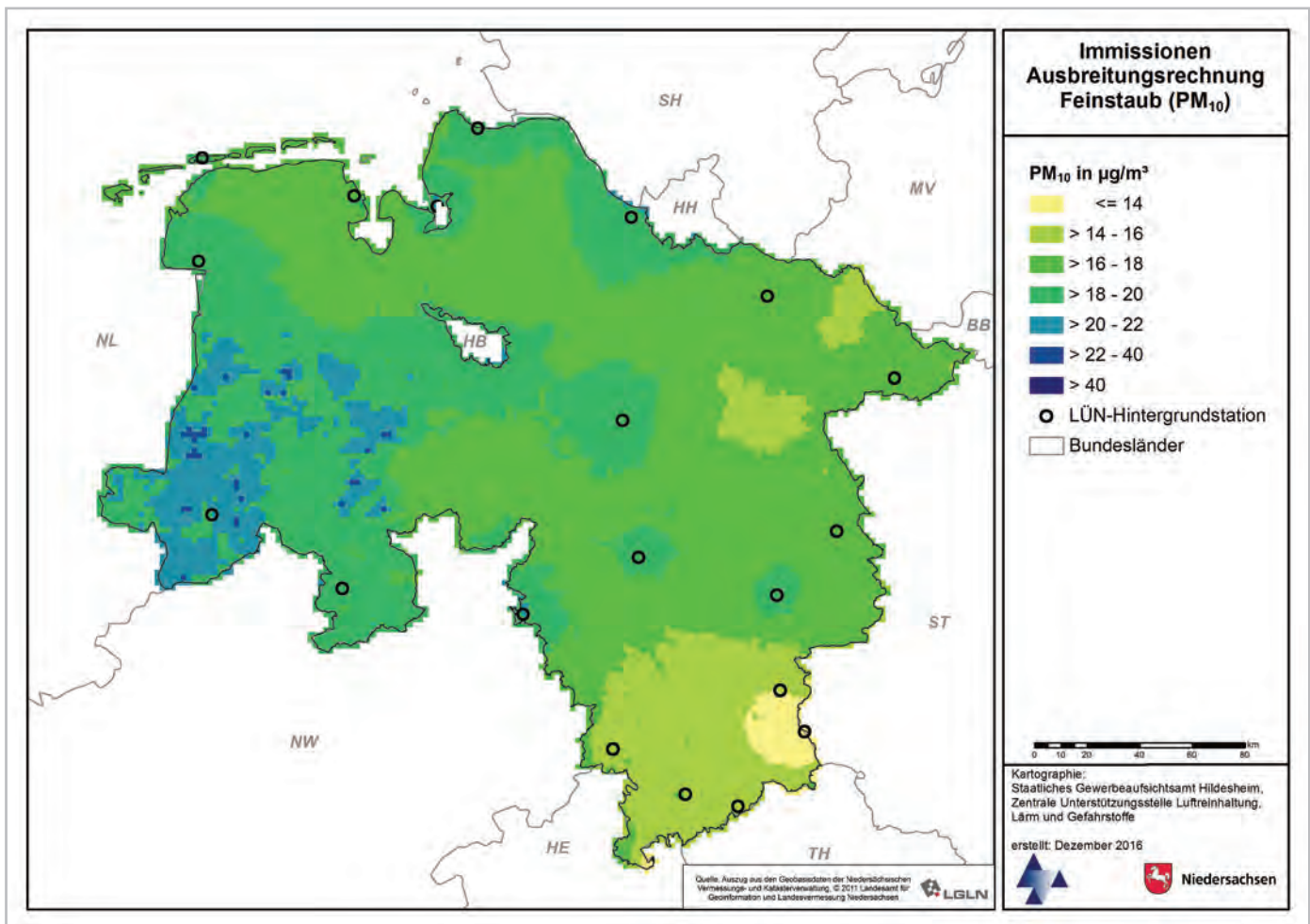


Abbildung 36: PM₁₀-Immissionen

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Feinstaub (PM₁₀)-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) auf Basis der im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionen, dargestellt auf den Rechenrastern von 2 km * 2 km (Niedersachsen) und 0,5 km * 0,5 km (südliches Niedersachsen; s. Abbildung 33)

Die mittleren jährlichen Immissionskonzentrationen von O₃ liegen landesweit zwischen 37 µg/m³ und maximal 67 µg/m³ O₃ (im Gebietsmittel 49 µg/m³). Die räumliche Verteilung der O₃-Immissionen unterscheidet sich signifikant von denen der Stickoxide (NO_x und NO₂) und des PM₁₀. Städtische Gebiete treten nicht durch höhere Immissionskonzentrationen hervor

sondern weisen vielmehr niedrigere Werte als das Umland auf. Hohe Werte sind dagegen in deutlich quellfernen Gebieten zu sehen. Die höchsten O₃-Immissionen zeigen sich im Harz, auf den Nordseeinseln und im Küstenbereich (Abbildung 37).

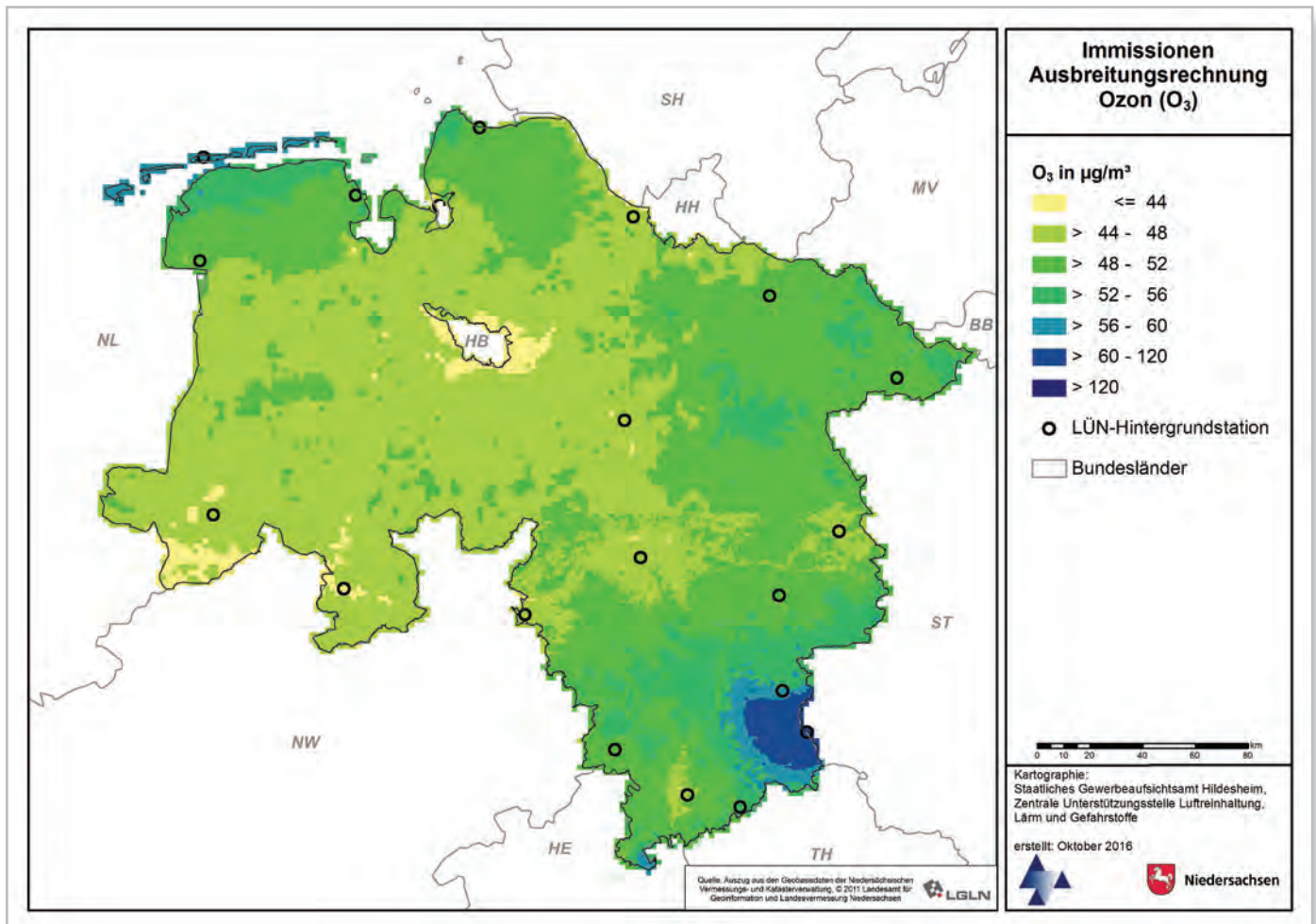


Abbildung 37: O₃-Immissionen

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Ozon (O₃)-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) auf Basis der im HERmEliN-Projekt ermittelten Emissionen, dargestellt auf den Rechenrastern von 2 km * 2 km (Niedersachsen) und 0,5 km * 0,5 km (südliches Niedersachsen; s. Abbildung 33)

8.1.2 Immissionen in städtischen Gebieten

In der räumlichen Verteilung der berechneten mittleren jährlichen Immissionen treten sowohl bei den Stickoxiden als auch beim Feinstaub städtische Gebiete als Bereiche mit erhöhten Immissionsbelastungen hervor (Abbildung 34 bis Abbildung 36). Diese Verteilung wird in Abbildung 38 noch einmal durch die Darstellung der Mediane der Verteilungen der berechneten Immissionen für die betrachteten Luftschadstoffe veranschaulicht. Unterschieden wird hierbei nach Rechengitterzellen in und außerhalb von Stadtgebieten. Als Stadtgebiete sind in diesem Fall alle Bereiche zusammengefasst, die im ATKIS-Datensatz eine zusammenhängend bebaute Fläche von mindestens 4 km² aufweisen. Dieser Definition folgend liegen 9 % aller Rechengitterzellen innerhalb und 91 % außerhalb von Stadtgebieten. Der Median der Gesamtverteilung, bezogen auf alle Rechengitterzellen in Niedersachsen

(ebenfalls in Abbildung 38) liegt daher näher an den ländlichen als an den städtischen Werten.

Generell liegen die Werte in den städtischen Bereichen höher als in den ländlichen Bereichen (+21 % bei NO_x, +23 % bei NO₂ und +8 % bei PM₁₀). Damit zeigt sich auch in dieser großräumigen und eher überschlägigen Berechnung der Immissionen das häufig beschriebene Bild der Steigerung der Belastung vom regionalen Hintergrund zu einem städtischen Hintergrund [66]. Am Ende dieser Belastungssteigerung befinden sich auf diese Hintergrundbelastungen aufsattelnd die möglichen Schwerpunkte der Luftschadstoffbelastung, die durch lokale Emissionen (zumeist des Straßenverkehrs) maximale Immissionskonzentrationen aufweisen. Eine Ausnahme bildet erwartungsgemäß das O₃, dessen berechnete Immissionen in den ländlichen Bereichen höhere Werte erreichen (durchschnittlich +3 %).

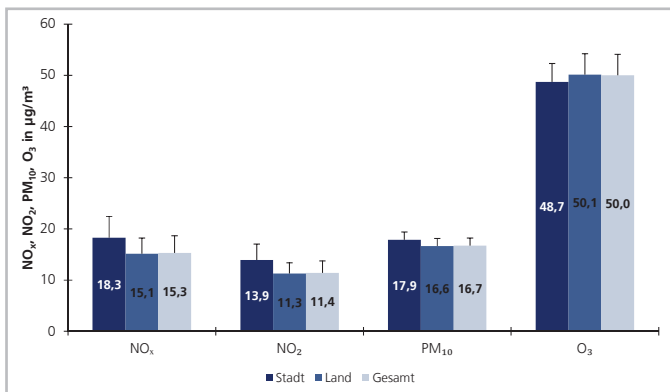


Abbildung 38: Vergleich Immissionen Stadt-Land

Flächenhafte Mediane der NO_x-, NO₂-, PM₁₀- und O₃-Werteverteilungen in und außerhalb von Stadtgebieten sowie für Gesamtniedersachsen (n = Anzahl der Rechengitterzellen im 0,5 km * 0,5 km-Gitter und im 2 km * 2 km-Gitter)

Bei dieser pauschalen Betrachtung wird jedoch zunächst außer Acht gelassen, dass es sich bei Stadtgebieten nicht um homogene Gebilde handelt sondern vielmehr um sehr heterogene Strukturen unterschiedlicher Ausprägungen und Nutzungen. Um einen Einblick in die innerstädtische Variabilität der Immissionskonzentrationen der betrachteten Luftschadstoffe zu erhalten, werden im Folgenden die Werteverteilungen innerhalb verschiedener Stadtgebiete betrachtet.

Die Spannweiten der Werteverteilung der mittleren jährlichen Immissionskonzentrationen von NO_x, NO₂, PM₁₀ und O₃ für die Stadtgebiete einiger einwohnerstärkerer Städte in Niedersachsen sind in Abbildung 39 bis Abbildung 42 dargestellt. Hierbei wird jede im Stadtgebiet befindliche Rechengitterzelle in die Auswertung einbezogen. Dafür werden, im Gegensatz zur vorherigen Betrachtung des generellen Unterschieds zwischen Stadt und Land, jetzt die administrativen Grenzen der einzelnen Städte als Abgrenzung herangezogen.

Während die Städte im feinsten Berechnungsgitter (0,5 km * 0,5 km; z. B. Göttingen, Hannover) sich dadurch auf eine wesentlich größere Anzahl von Gitterzellen verteilen, sind es bei einigen nördlicher gelegenen Städten (z. B. Lüneburg, Delmenhorst, Emden) nur wenige Zellen im gröberen Berechnungsgitter (2 km * 2 km). Die Streubreite der Immissionen ist bei den Städten mit wenigen Zellen daher schon aufgrund dieses rechnerischen Effekts deutlich geringer.

Zusätzlich wird durch die Beschränkung auf die administrativen Grenzen der Städte eine sehr große Bandbreite an Nutzungen überdeckt, so dass in manchen Städten neben der Siedlungs-, Industrie und Verkehrsflächen teilweise auch große Vegetationsflächen (Parks, Stadtwälder) in diese Betrachtung einfließen. Diese können aufgrund des Fehlens von Quellen zum Teil deutlich niedrigere Immissionsbelastungen für einige Luftschadstoffe aufweisen und so die Spannweite der Werteverteilung vergrößern.

Der höchste Median der Werteverteilung mittlerer jährlicher Immissionskonzentrationen für NO₂ ergibt sich für das Stadtgebiet von Hannover (ca. 19 µg/m³). Auch innerhalb der administrativen Grenzen der Städte Delmenhorst (ca. 18 µg/m³) und Osnabrück (ca. 18 µg/m³) werden hohe Werte erreicht (Abbildung 40). Auch für die mittleren jährlichen Immissionskonzentrationen von NO_x liegen die Mediane der drei genannten Städte im Vergleich zu den restlichen Städten am höchsten (Abbildung 39).

Die höchsten mittleren jährlichen PM₁₀-Immissionskonzentrationen innerhalb eines Stadtgebietes werden für die Stadt Lingen (Ems) berechnet (ca. 20 µg/m³). Hier liegen 75 % der innerhalb des Stadtgebietes berechneten Werte sogar höher als die berechneten Maximalwerte aller anderen Städte (Ausnahme Braunschweig; Abbildung 41). Auch in Emden werden relativ hohe Hintergrundbelastungen für PM₁₀ berechnet (ca. 19 µg/m³). Diese Ergebnisse passen sich in das zuvor gezeigte räumliche Verteilungsmuster der PM₁₀-Immissionen in Abbildung 36 mit höheren Immissionen im Westen Niedersachsens ein. In diesen Bereichen finden sich zum einen emissionsstarke Quellen von PM₁₀ innerhalb Niedersachsens (u. a. Landwirtschaft, Abbildung 51 im Anhang) sowie Quellen von Vorläuferstoffen für sekundär gebildete Partikel (NH₃ aus der Landwirtschaft). Zum anderen ist aber auch der Eintrag von primärem PM₁₀ von Quellen außerhalb Niedersachsens (Abbildung 45 in Abschnitt 8.2) sowie ebengleich deren Emission von Vorläuferstoffen für die sekundäre Bildung von Partikeln für die erhöhte Hintergrundbelastung verantwortlich.

Wie auch bei den Stickoxiden sind bei den übrigen Städten die für Hannover, Osnabrück und Delmenhorst (jeweils ca. 19 µg/m³) in den jeweiligen Stadtgebieten bestimmten Mediane der Verteilung der PM₁₀-Jahresmittelwerte am höchsten. In ähnlich hohen Wertebereichen liegen aber auch die Mediane der Werteverteilung von PM₁₀ für Oldenburg (ca. 19 µg/m³) und Braunschweig (ca. 18 µg/m³).

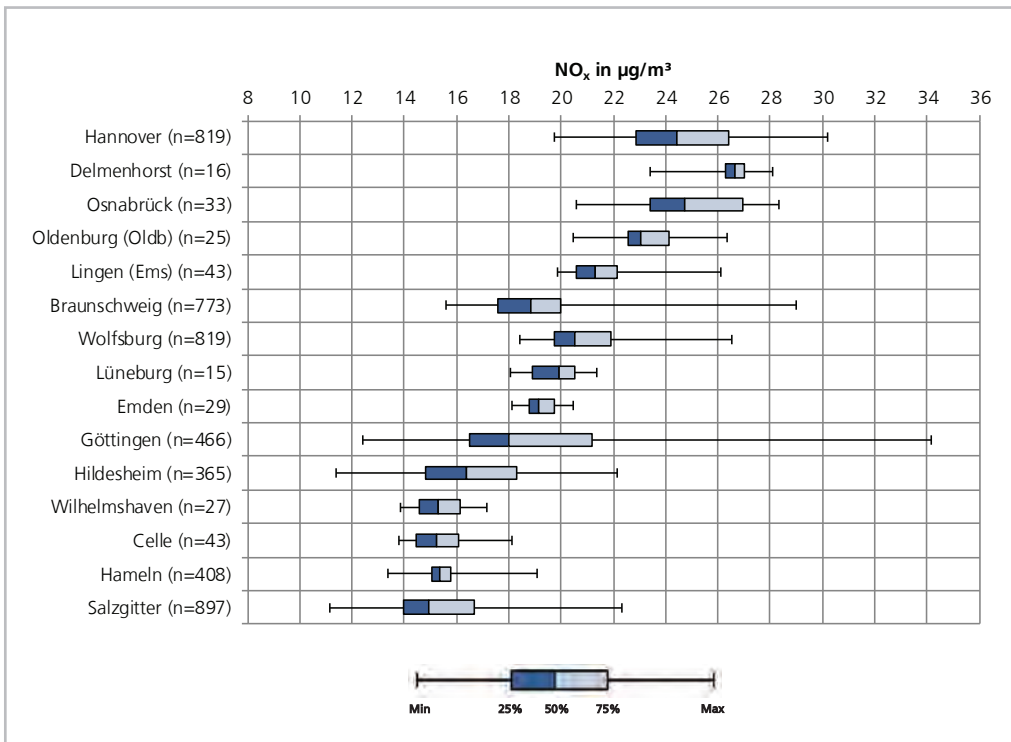


Abbildung 39:
NO_x-Immissionen in
Stadtgebieten

Werteverteilung der Stickoxid (NO_x)-Hintergrund-Immissionen in den Stadtgebieten ausgewählter Städte (n = Anzahl der Rechengitterzellen im jeweiligen Stadtgebiet)

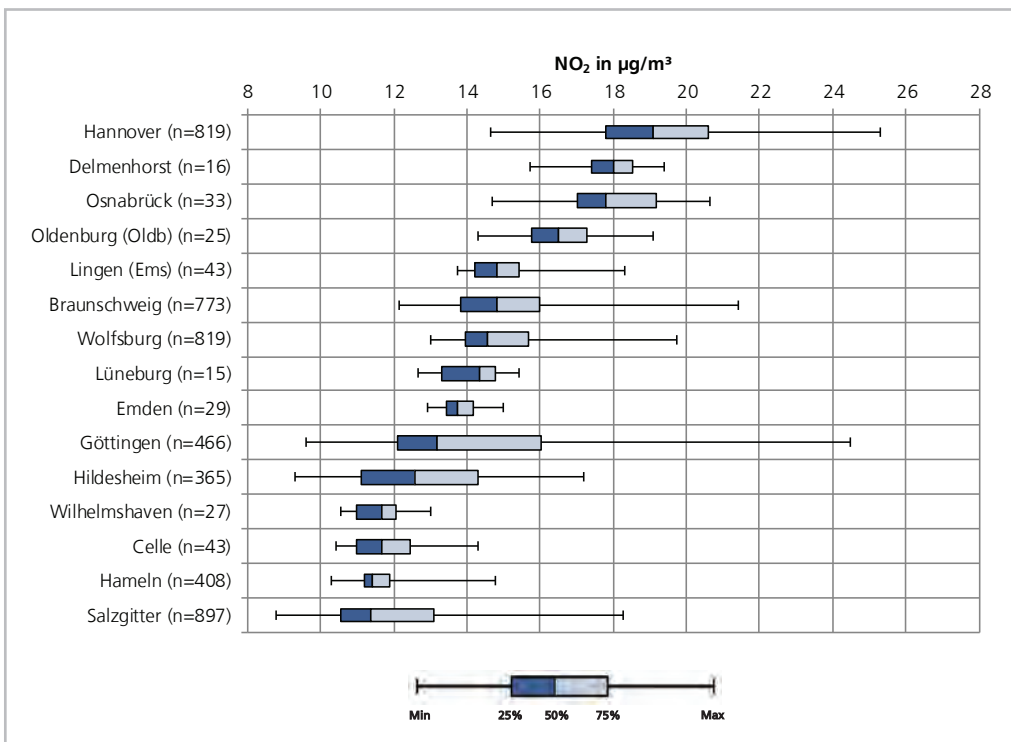


Abbildung 40:
NO₂-Immissionen in
Stadtgebieten

Werteverteilung der Stickstoffdioxid (NO₂)-Hintergrund-Immissionen in den Stadtgebieten ausgewählter Städte (n = Anzahl der Rechengitterzellen im jeweiligen Stadtgebiet)

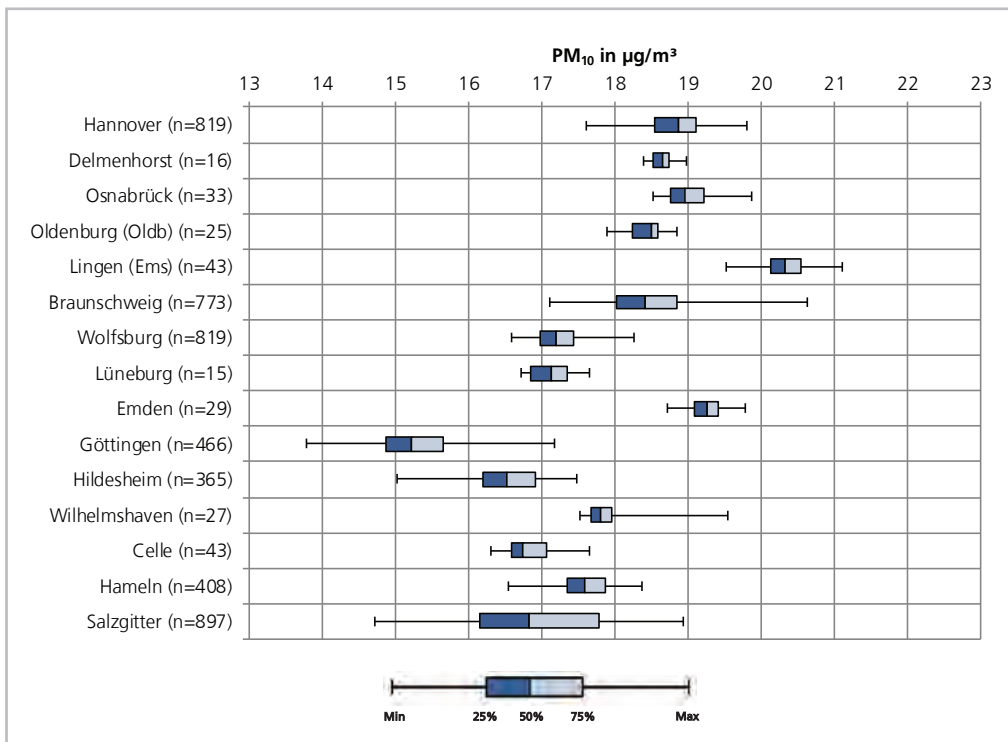


Abbildung 41:
PM₁₀-Immissionen in
Stadtgebieten

Verteilung der Feinstaub (PM₁₀)-Hintergrund-Immissionen in den Stadtgebieten ausgewählter Städte (n = Anzahl der Rechengitterzellen im jeweiligen Stadtgebiet)

Im Vergleich der Schadstoffe wird deutlich, dass die Spannweite der Werte innerhalb der hier betrachteten Stadtgebiete insgesamt bei den Stickoxiden (NO_x bei etwa 38 µg/m³ und NO₂ bei etwa 23 µg/m³, für alle Gitterzellen des Rechengitters) wesentlich höher ist als beim Feinstaub PM₁₀ (etwa 19 µg/m³). Die Stickoxide können als eher reaktionsfreudige Gase schneller in der Atmosphäre reagieren oder auch entfernt werden als der relativ träge reagierende und deponierende Feinstaub. Infolgedessen ist der Gradient von der Quelle zum Hintergrundniveau bei den Stickoxiden teilweise deutlich höher als dies beim Feinstaub der Fall ist.

Dies trifft insbesondere in den Städten zu, da dort eine relativ hohe urbane Hintergrundbelastung (der Median liegt hier bei etwa 18 µg/m³) auf zumeist nur moderate Spitzen in der Zusatzbelastung durch PM₁₀ (das urbane Maximum der mittleren jährlichen Gesamtbelastung liegt bei etwa 25 µg/m³) trifft. Bei den Stickoxiden liegt das urbane Hintergrundniveau deutlich niedriger (etwa 14 µg/m³) und die Spitzen in der ermittelten Hintergrundbelastung zum Teil deutlich höher (etwa 28 µg/m³).

Das troposphärische O₃ verhält sich im Vergleich zu den anderen betrachteten Luftschadstoffen deutlich anders, was

auch schon in der Betrachtung der Verteilung der Gesamtimmisionen zuvor gezeigt werden konnte. In der stadtgebietsbezogenen Auswertung liegen die höchsten O₃-Immissionen in den Stadtgebieten mit niedrigeren NO₂-Immissionen. Die höchsten Werte werden für die Stadtgebiete von Salzgitter (ca. 52 µg/m³), Hildesheim (ca. 51 µg/m³), Wilhelmshaven (ca. 51 µg/m³) und Lüneburg (ca. 50 µg/m³) berechnet. In Hannover (ca. 46 µg/m³), Delmenhorst und Osnabrück (jeweils ca. 44 µg/m³) liegen die Werte dagegen deutlich niedriger.

O₃ wird in Anwesenheit von Stickstoffmonoxid (NO), das in Städten bodennah in erster Linie aus den Emissionen des Straßenverkehrs stammt, schnell abgebaut und bildet NO₂ (stark vereinfacht: O₃ + NO → NO₂ + O₂). Ohne höhere Konzentrationen von NO ist dieser Abbaupfad des O₃ deutlich eingeschränkt und das O₃ kann sich in der bodennahen Atmosphäre sammeln. Diese Akkumulation ist in den quellenfernen Gebieten Niedersachsens, v. a. im Harz und auf den ostfriesischen Inseln (Abbildung 37), aber auch generell in den ländlichen Gebieten außerhalb von Städten zu sehen (Abbildung 38 und Abbildung 42).

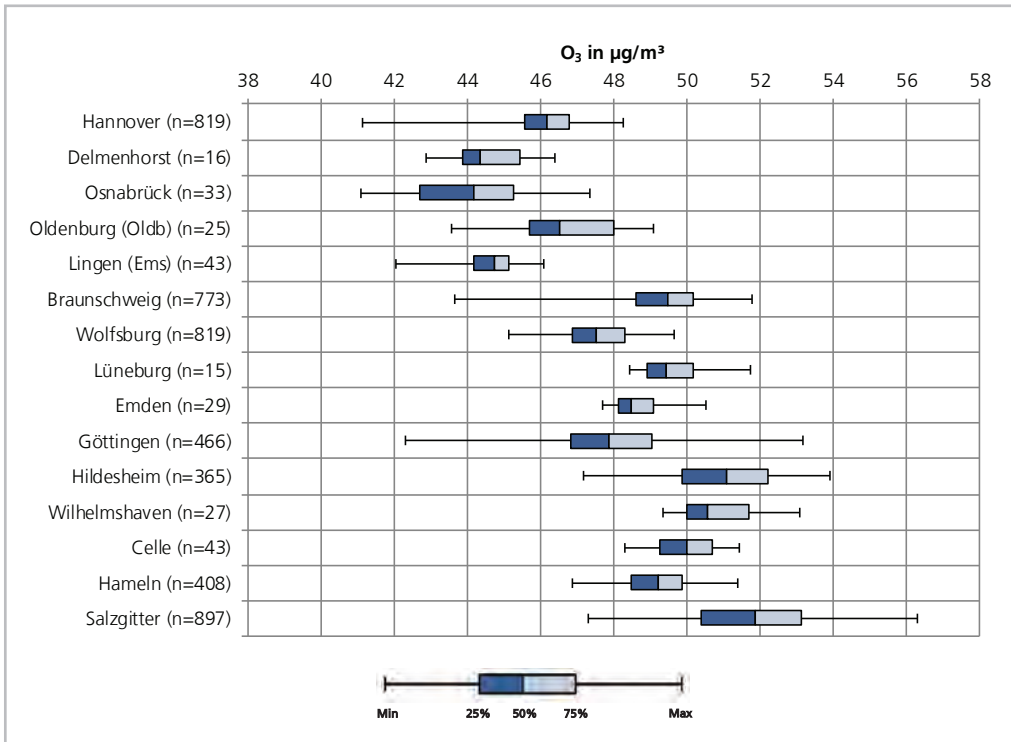


Abbildung 42:
O₃-Immissionen in Stadtgebieten

Werte Verteilung der Ozon (O₃)-Hintergrund-Immissionen in den Stadtgebieten ausgewählter Städte (n = Anzahl der Rechengitterzellen im jeweiligen Stadtgebiet)

8.2 Immissionen ohne anthropogene Emissionsquellen in Niedersachsen

Zusätzlich zu der in Abschnitt 8.1 beschriebenen Berechnung der Hintergrundbelastung auf Basis der im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionsdaten wurde ein weiteres Szenario mit identischen Rahmenbedingungen berechnet. Einzig der Beitrag der anthropogenen Emissionen aus Quellen in Niedersachsen wurde komplett auf Null gesetzt. Aus dieser Ausbreitungsrechnung können Hinweise auf die durch Quellen außerhalb Niedersachsens verursachten Anteile an den Gesamtimmisionen abgeleitet werden. Eine lineare Zuordnung dieses Beitrags zur Hintergrundbelastung ist dabei nicht möglich, da die chemischen und physikalischen Prozessketten ohne die von Quellen in Niedersachsen emittierten Stoffe ablaufen.

Im Ergebnis steht für den hauptsächlich primär emittierten Luftschadstoff NO_x eine deutlich homogenere Verteilung der mittleren jährlichen Immissionskonzentrationen über das Landesgebiet als in der Ursprungsrechnung. Es ergibt sich über die

Landesfläche gemittelt eine NO_x -Immission von etwa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Werte ($> 12 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$) sind quellnah und damit entlang der Landesgrenzen, im Besonderen in den westlichen und südwestlichen Landesteilen zu sehen. Hierfür sind neben der Nähe zu den Quellen außerhalb Niedersachsens (Niederlande und Nordrhein-Westfalen) auch das mittlere primäre Maximum der Windrichtung aus westlichen bis südwestlichen Richtungen und damit die mittlere Transportrichtung emittierter Luftschadstoffe in Richtung Niedersachsen entscheidend.

Die in diesem Zusammenhang als quellfernere Gebiete zu bezeichnenden Bereiche im Landesinneren weisen dagegen lediglich geringe Immissionskonzentrationen ($< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) auf. Eine Umkehr dieses Konzentrationsgradienten ist räumlich erst wieder im Bereich entlang der Elbe im Norden und an den Grenzen zu Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt sowie rund um Bremen und Bremerhaven zu erkennen (Abbildung 43). Eine insgesamt ähnliche räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Immissionskonzentrationen ergibt sich für NO_2 (Abbildung 44).

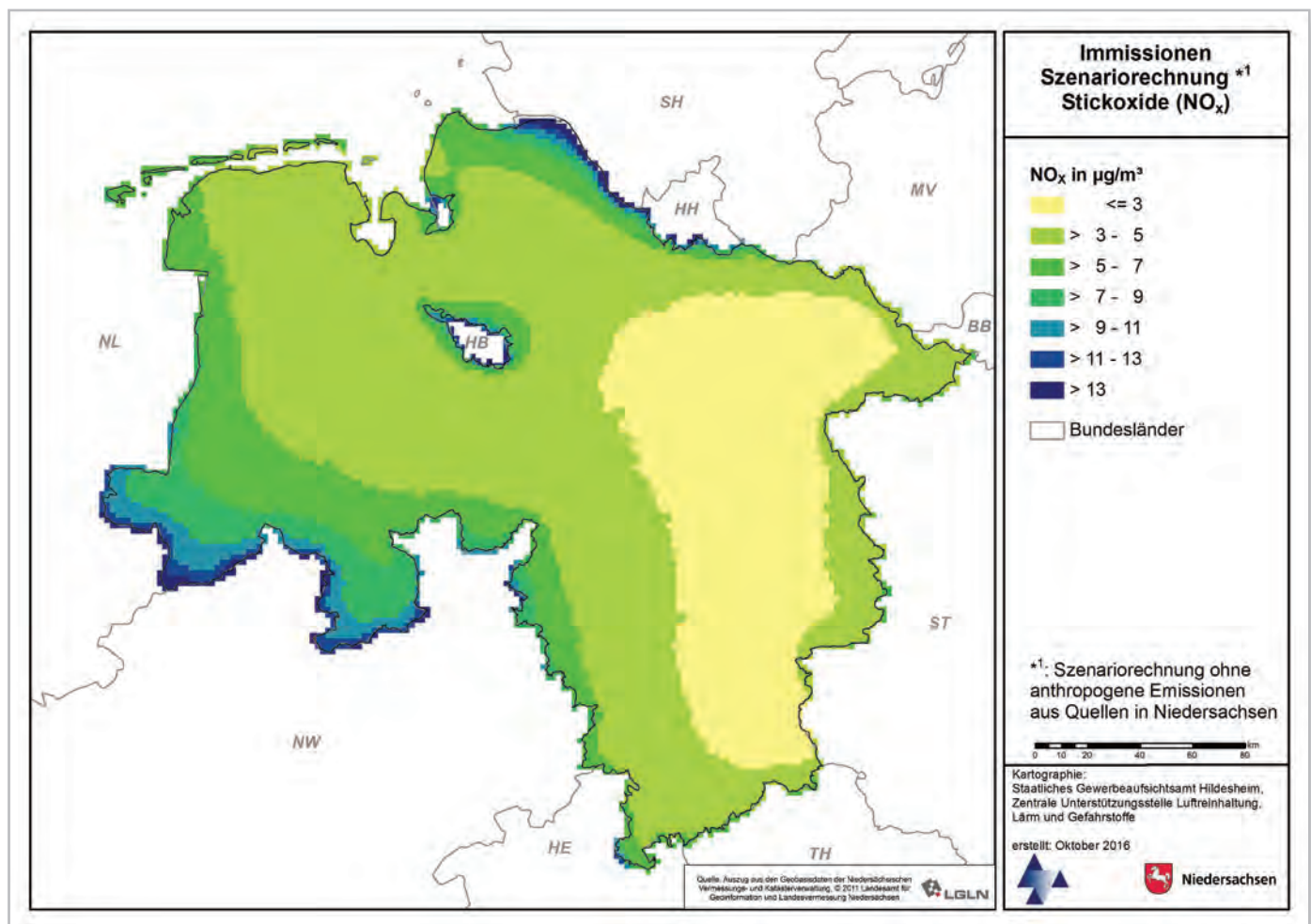


Abbildung 43: NO_x -Immissionen Szenariorechnung
Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Stickoxid (NO_x)-Hintergrund-Immissionen (Jahresmittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ohne die Emissionen auf dem Gebiet Niedersachsens

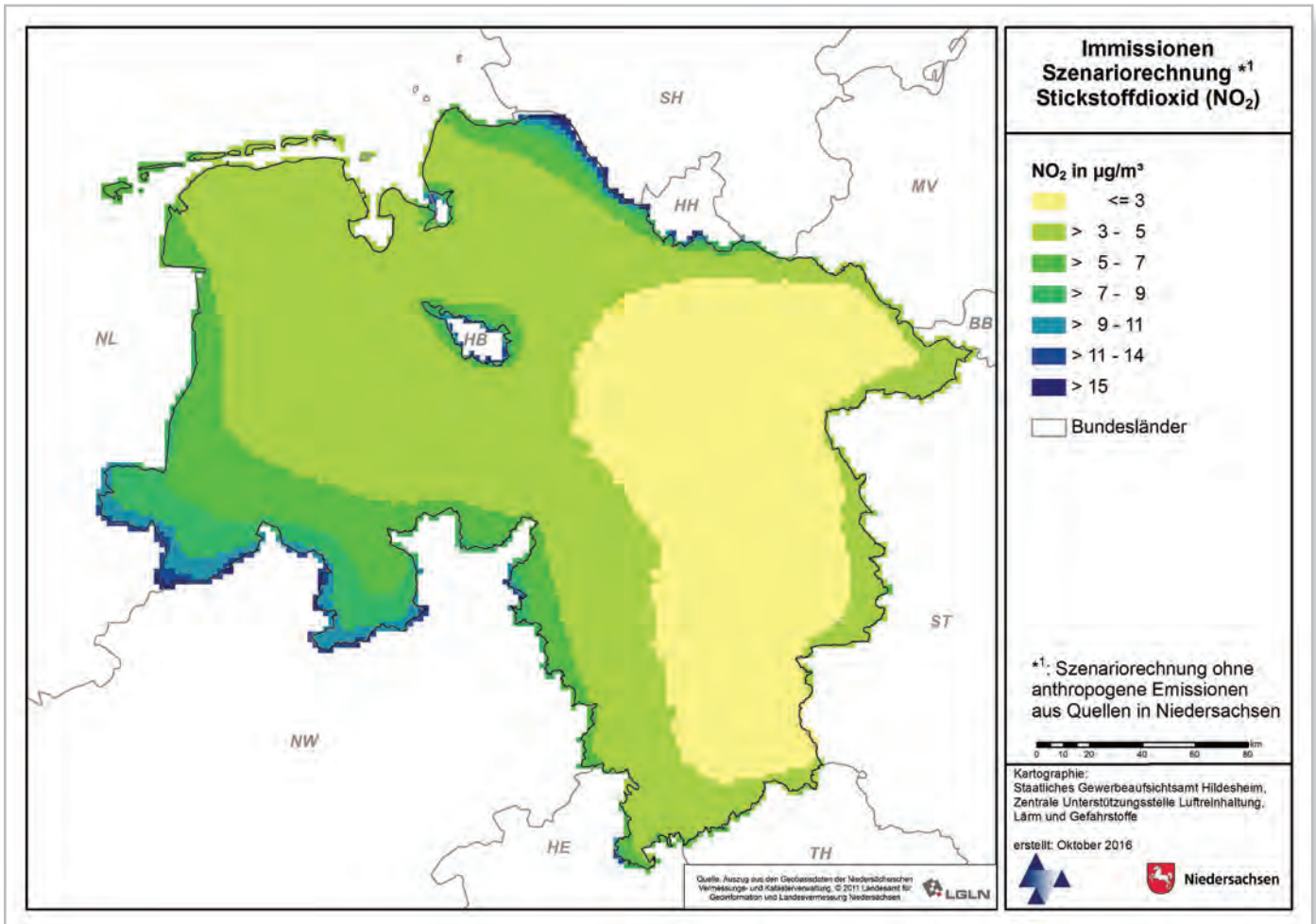


Abbildung 44: NO₂-Immissionen Szenariorechnung

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Stickstoffdioxid (NO₂)-Hintergrund-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) ohne die Emissionen auf dem Gebiet Niedersachsens

Generell lässt sich auch für die berechneten mittleren jährlichen Immissionskonzentrationen von PM₁₀ eine zu den Stickoxiden vergleichbare räumliche Verteilung erkennen. Die höchsten Werte treten in den Bereichen der Landesgrenzen und damit in der Nähe der Quellen auf. Die niedrigsten Werte zeigen sich quelfern und damit im Landesinneren (Abbildung 45). Das Flächenmittel für das gesamte Landesgebiet Niedersachsens liegt mit etwa 9 µg/m³ allerdings signifikant höher als bei den Stickoxiden. Aufgrund der längeren Verweildauer des Feinstaubs in der Atmosphäre können Emissionen aus weiter entfernten Quellen auch quelfern einen beträchtlichen Beitrag zur PM₁₀-Gesamtmission leisten.

Der Einfluss der Emissionen dieser Quellen auf die sekundäre Partikelbildung in Niedersachsen und damit ebenfalls auf die PM₁₀-Gesamtmission wird dabei in dieser Szenariorechnung größtenteils nicht berücksichtigt. Chemische Reaktionen von Vorläuferstoffen für die sekundäre Partikelbildung (Stickoxide, Ammoniak) aus Quellen außerhalb Niedersachsens mit Stoffen aus Quellen innerhalb Niedersachsens (speziell Ammoniak aus der intensiven Landwirtschaft im westlichen Niedersachsen) bleiben durch das Abschalten dieser Quellen überwiegend aus.

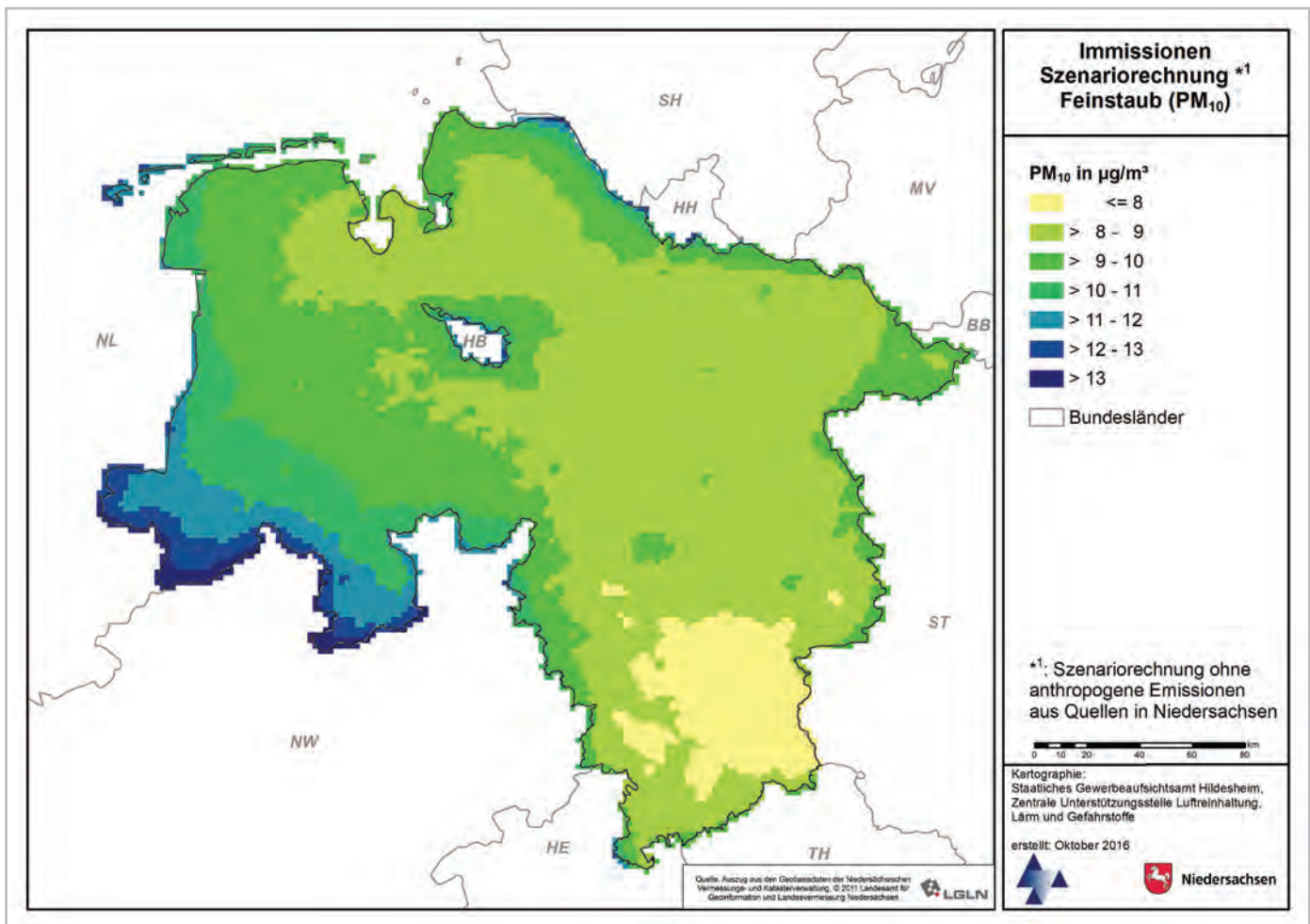


Abbildung 45: PM₁₀-Immissionen Szenariorechnung

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Feinstaub (PM₁₀)-Hintergrund-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) ohne die Emissionen auf dem Gebiet Niedersachsens

Bei der räumlichen Verteilung der in diesem Szenario berechneten mittleren jährlichen Immissionskonzentration von Ozon sind folgende Punkte zu beachten: Bei O₃ handelt es sich um einen sekundär gebildeten Schadstoff; entscheidend für die Bildung sind somit die Emissionen von Vorläufersubstanzen. Durch das Fehlen von anthropogenen Emissionen aus dem gesamten Landesgebiet Niedersachsens fehlen zudem größere Mengen möglicher Reaktionspartner des O₃. Hierbei sind es vor allem die Stickoxide, die

ein wichtiger Bestandteil der photochemischen Bildung und des Abbaus von O₃ sind. Aussagen zum Beitrag von Quellen außerhalb Niedersachsens zur Ozonbildung in Niedersachsen sind auf Basis dieser Berechnungen daher mit einer großen Unsicherheit behaftet. Von einer weitergehenden Auswertung der O₃-Immission wird an dieser Stelle daher abgesehen. Das Ergebnis des Rechenlaufs ist jedoch der Vollständigkeit halber in Abbildung 46 dargestellt.

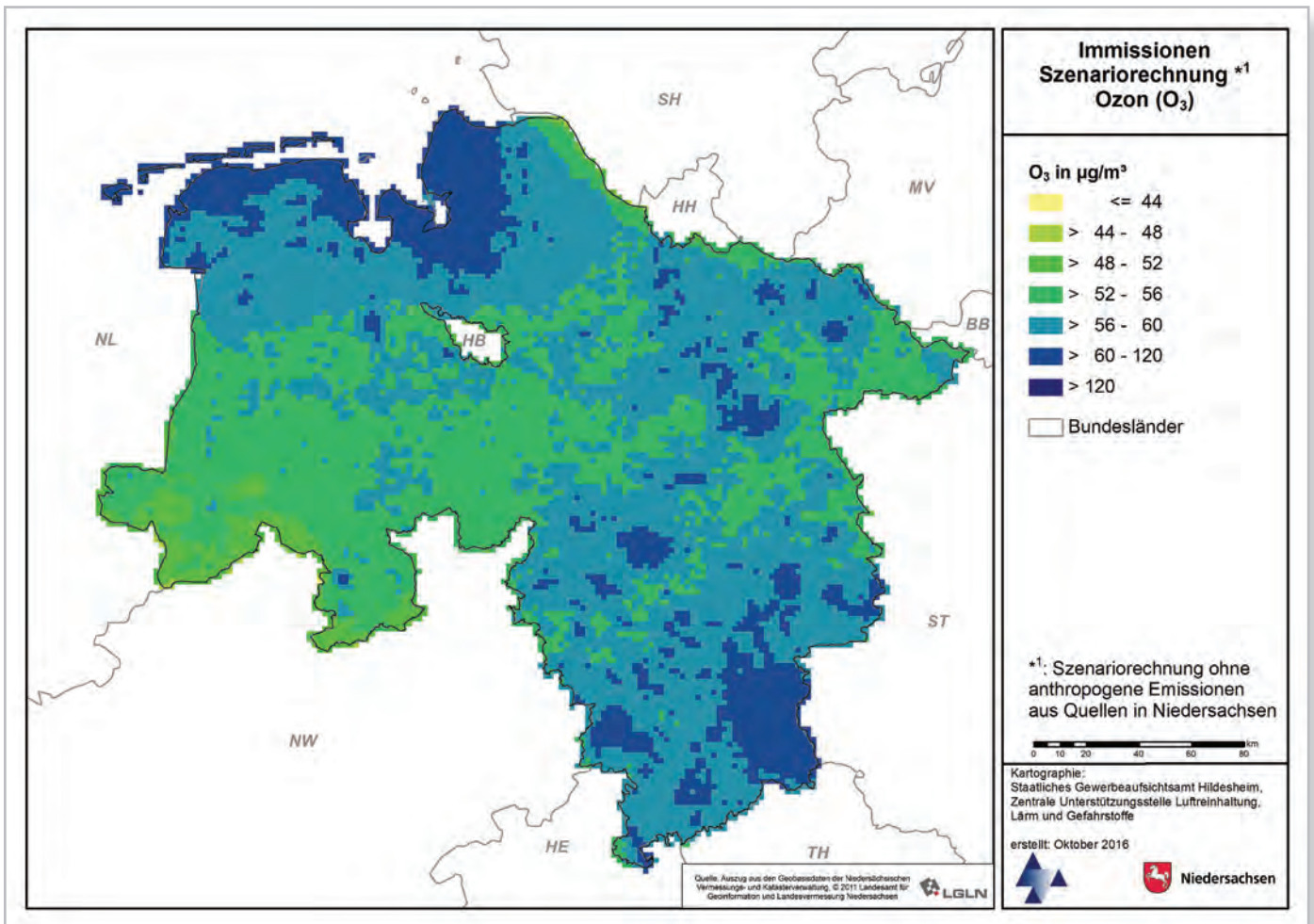


Abbildung 46: O₃-Immissionen Szenariorechnung

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für Ozon (O₃)-Hintergrund-Immissionen (Jahresmittelwert in µg/m³) ohne die Emissionen auf dem Gebiet Niedersachsens

9. Hotspotermittlung

Ein wichtiges Ziel und eigentlicher Ausgangspunkt für die Durchführung des HErmEliN-Projektes ist die Ermittlung der Orte, an denen die höchsten Luftschadstoffimmissionen auftreten. Diese Orte sind heutzutage in erster Linie an Straßenzügen mit einem für die Luftreinhalteung ungünstigen Höhe-Breite-Verhältnis der umliegenden Bebauung und relativ hohen Verkehrszahlen gelegen. An diesen Orten kommt es durch die sich addierenden Einflüsse der für die Immissionen relevanten Quellbereiche des regionalen und urbanen Hintergrundes und der lokalen Zusatzbelastung durch die Emissionen des Straßenverkehrs zu hohen Luftschadstoffkonzentrationen (Abbildung 47 [66]).

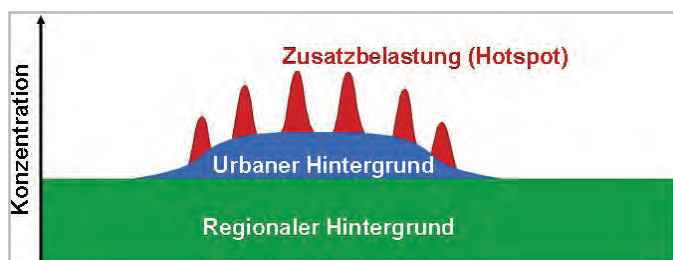


Abbildung 47: Profil der Immissionsbelastung

Schematisches horizontales Profil durch die Immissionsbelastung eines Schadstoffs vom regionalen Hintergrund in den urbanen Raum (nach [66])

Die für das HErmEliN-Projekt zur Verfügung stehenden Geodaten (Daten zur Bebauung, Straßennetz) können für die Identifizierung von potenziellen Hotspots, an denen durch die geometrischen Gegebenheiten zunächst die Voraussetzungen für hohe Luftschadstoffimmissionen geschaffen werden, herangezogen werden. In Abschnitt 9.1 wird der hierfür genutzte GIS-basierte Arbeitsschritt beschrieben.

Die potenziellen Schwerpunkte der Luftschadstoffbelastung, die auf Grundlage der ermittelten Hintergrundbelastung zusammen mit Detailberechnungen der Zusatzbelastung an den geometrisch-potenziellen Hotspots bestimmt wurden, werden im gesonderten Bericht zur Hotspotermittlung im Rahmen des HErmEliN-Projektes [12] dargestellt.

9.1 Ermittlung geometrisch-potenzieller Hotspots

Aus langjährigen Messreihen ist bekannt, dass die höchsten NO_2 - und PM_{10} -Immissionen an Straßen mit geschlossener Randbebauung und mit hohem Verkehrsaufkommen auftreten. Je größer dabei das Verhältnis der Bebauungshöhe zur Straßenbreite, desto schlechter sind die (Luft-)Austauschbedingungen innerhalb einer solchen Straßenschlucht. Weitere Faktoren, wie die Ausrichtung der Straße zur Hauptwindrichtung, Strömungshindernisse in der Straßenschlucht (Bäume oder sonstige Vegetation) oder zusätzliche Emissionsquellen neben dem Straßenverkehr (Hausbrand, Industrie) können zu einer Veränderung der Belastung führen.

Mithilfe des Programms IMMIS^{build} [67] kann entlang eines Straßennetzes nach Immissionsabschnitten mit homogenen Bebauungsmustern gesucht werden, um zunächst diejenigen Straßenabschnitte mit einem Potenzial zu hohen Luftschadstoffbelastungen zu identifizieren. Im HErmEliN-Projekt wird dieser Arbeitsschritt für das niedersächsische ATKIS-Straßennetz und unter Berücksichtigung der vorliegenden Gebäudedaten (LGLN) vollautomatisch mit dem Programm AutoBuild [11] durchgeführt. Es werden im Ergebnis aus Straßenzügen IMMIS^{luft}-konforme Abschnitte gebildet, die vom Programm zusätzlich die Attribute Baulückenanteil (Porosität in %), Bebauungsabstand (in m) und mittlere Gebäudehöhe (in m ü. Gr.) zugewiesen bekommen. Diese Parametrisierung der Straßenabschnitte ist für die spätere kleinskalige Berechnung der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr mithilfe eines Screeningmodells notwendig. Aneinander angrenzende Straßenobjekte wurden im Vorfeld dieses Arbeitsschrittes bei übereinstimmenden Attributen (DTV, Ortslage, Gemeinde und Straßentyp) zu längeren homogenen Straßenzügen zusammengefasst.

Im Ergebnis liegt eine landesweite Liste von Straßenabschnitten vor, die als geometrisch-potenzielle Hotspots identifiziert werden konnten. Es handelt sich hierbei um insgesamt 340.823 Abschnitte. Durch diesen GIS-basierten Ansatz hat sich gezeigt, dass in jeder der Städte und Gemeinden in Niedersachsen solche geometrisch-potenziellen Hotspots zu finden sind.



9.2 Ermittlung berechneter Hotspots

Das Ergebnis der Berechnungen der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr mithilfe des beschriebenen Screeningmodells und der Verschneidung mit der Hintergrundbelastung ist die mittlere jährliche Gesamtbelastung an allen bestimmten geometrisch-potenziellen Hotspots.

Ob ein potenzieller Schwerpunkt der Luftschadstoffbelastung vorliegt, hängt dann von der berechneten Gesamtbelastung im Vergleich zum Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit ab. Für NO_2 kann ein direkter Vergleich mit dem Grenzwert für den Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durchgeführt werden. Aufgrund der Unsicherheit in der Methodik der Modellrechnungen werden zusätzlich in einem ersten Schritt alle Straßenabschnitte mit einem berechneten Jahresmittelwert $> 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betrachtet.

Aus den Messungen des Messnetzes des Landes Niedersachsen (LÜN) sind bereits sieben Städten bekannt, in denen sich im Bezugsjahr 2011 NO_2 -Hotspots mit einer über den Grenzwert hinaus gehenden Belastung von über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ finden. Für diese sieben Städte werden auch im Screening des HERmEliN-Projektes Hotspots gefunden. Dazu werden in 36 weiteren Städten und Gemeinden potenzielle Belastungsschwerpunkte für NO_2 durch das Screening ausgewiesen, so dass insgesamt in 43 Städten und Gemeinden berechnete potenzielle NO_2 -Hotspots (mittlere jährliche Belastung $> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vorhanden sind. Nimmt man die Städte und Gemeinden mit Straßenabschnitten mit Jahresmittelwerten der NO_2 -Konzentration von $> 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hinzu, sind es insgesamt 69 Städte und Gemeinden mit einem berechneten potenziellen Hotspot für das Bezugsjahr 2011.

Eine Übersicht der Städte und Gemeinden mit Hotspots bezogen auf den Jahresmittelwert der NO_2 -Konzentration ist in Abbildung 48 und Tabelle 8 zu sehen.

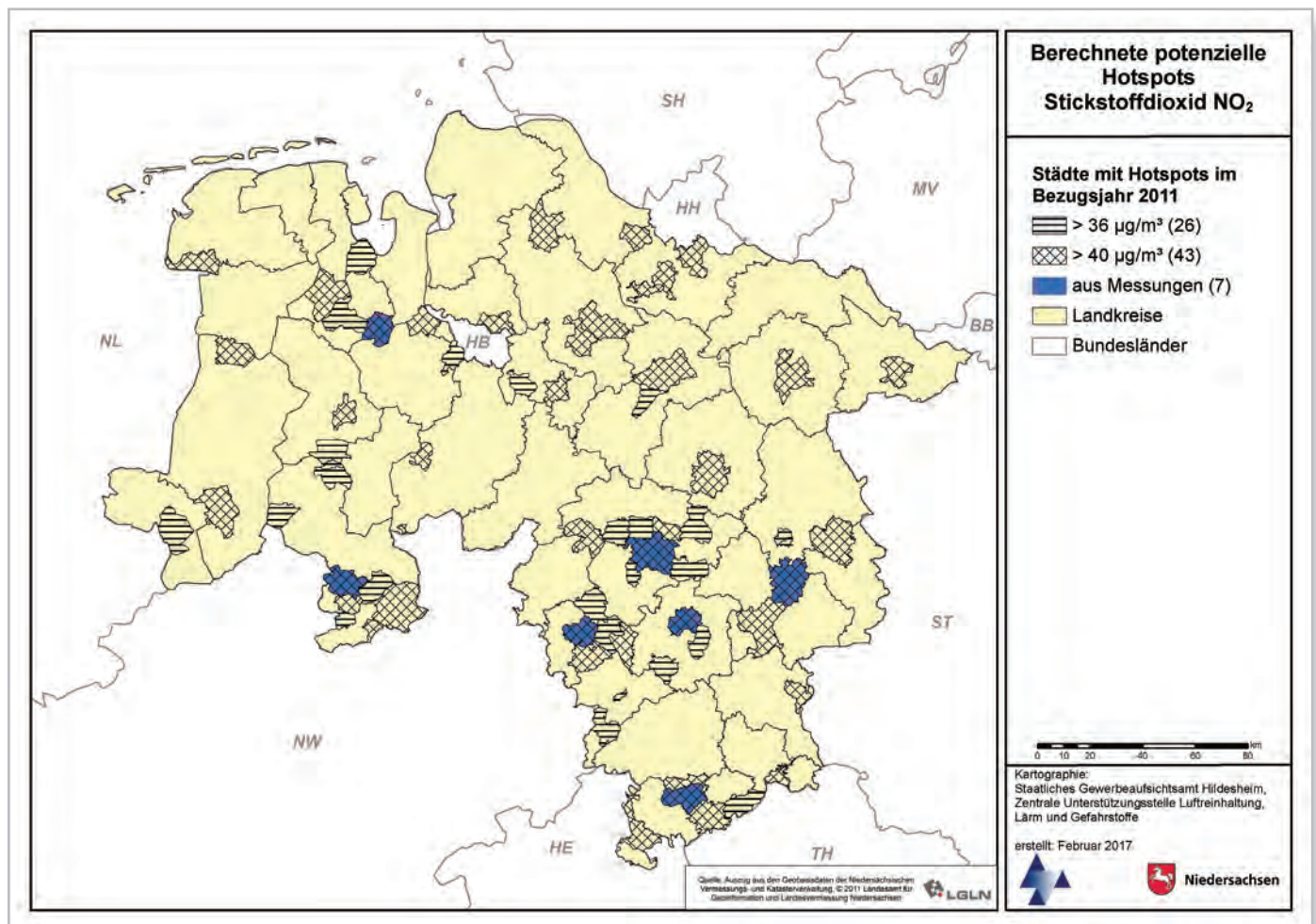


Abbildung 48: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für NO_2

Übersicht der Kommunen mit Straßenabschnitten an denen der berechnete Jahresmittelwert der NO_2 -Konzentration $> 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt sowie der Kommunen mit gemessenen Jahresmittelwerten $> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Bezugsjahr 2011 (7)

Tabelle 8: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für NO₂

Liste der Kommunen in Niedersachsen mit einem im HErmEliN-Projekt für das Bezugsjahr 2011 berechneten potenziellen Hotspot bezogen auf den Jahresmittelwert der NO₂-Konzentration, gruppiert in Jahresmittelwerte am Hotspot von > 50 µg/m³, > 40 µg/m³ und > 36 µg/m³.

| NO ₂ -JMW > 50 µg/m ³ | | | NO ₂ -JMW > 40 µg/m ³ | | | NO ₂ -JMW > 36 µg/m ³ | | |
|---|-------------------------|---------------------|---|-----------------------|---------------------|---|-------------------------|---------------------|
| Nr. | Stadt / Gemeinde | Regionale Zuordnung | Nr. | Stadt / Gemeinde | Regionale Zuordnung | Nr. | Stadt / Gemeinde | Regionale Zuordnung |
| 1 | Bad Lauterberg im Harz | Göttingen | 15 | Bad Harzburg | Goslar | 44 | Alfeld (Leine) | Hildesheim |
| 2 | Barnstorf | Diepholz | 16 | Barum | Uelzen | 45 | Bad Fallingb. b. Bostel | Heidekreis |
| 3 | Bovenden | Göttingen | 17 | Berne | Wesermarsch | 46 | Bad Iburg | Osnabrück |
| 4 | Braunschweig | Braunschweig | 18 | Bremervörde | Rotenburg | 47 | Bad Münder am Deister | Hameln-Pyrmont |
| 5 | Buchholz i.d. Nordheide | Harburg | 19 | Celle | Celle | 48 | Bad Salzdetfurth | Hildesheim |
| 6 | Cloppenburg | Cloppenburg | 20 | Dissen am Teutoburger | Osnabrück | 49 | Bad Zwischenahn | Ammerland |
| 7 | Emden | Emden | 21 | Emmerthal | Hameln-Pyrmont | 50 | Badbergen | Osnabrück |
| 8 | Göttingen | Göttingen | 22 | Georgsmarienhütte | Osnabrück | 51 | Bissendorf | Osnabrück |
| 9 | Hameln | Hameln | 23 | Gleichen | Göttingen | 52 | Burgdorf | Hannover |
| 10 | Hann. Münden | Göttingen | 24 | Hansestadt Buxtehude | Stade | 53 | Coppenbrügge | Hameln-Pyrmont |
| 11 | Hannover | Hannover | 25 | Hansestadt Uelzen | Uelzen | 54 | Delmenhorst | Delmenhorst |
| 12 | Hildesheim | Hildesheim | 26 | Lemförde | Diepholz | 55 | Duderstadt | Göttingen |
| 13 | Isernhagen | Hannover | 27 | Lilienthal | Osterholz | 56 | Essen (Oldenburg) | Cloppenburg |
| 14 | Osnabrück | Osnabrück | 28 | Lingen (Ems) | Emsland | 57 | Fürstenau | Osnabrück |
| | | | 29 | Lüchow (Wendland) | Lüchow-Dannenberg | 58 | Garbsen | Hannover |
| | | | 30 | Melle | Osnabrück | 59 | Holzminden | Holzminden |
| | | | 31 | Oldenburg (Oldb) | Oldenburg | 60 | Langenhagen | Hannover |
| | | | 32 | Papenburg | Emsland | 61 | Negenborn | Holzminden |
| | | | 33 | Rotenburg (Wümme) | Rotenburg | 62 | Nordhorn | Grafschaft Bentheim |
| | | | 34 | Salzgitter | Salzgitter | 63 | Quakenbrück | Osnabrück |
| | | | 35 | Salzhemmendorf | Hameln-Pyrmont | 64 | Ribbesbüttel | Gifhorn |
| | | | 36 | Scheeßel | Rotenburg | 65 | Ronnenberg | Hannover |
| | | | 37 | Seevetal | Harburg | 66 | Rötgesbüttel | Gifhorn |
| | | | 38 | Soltau | Heidekreis | 67 | Sehnde | Hannover |
| | | | 39 | Tostedt | Harburg | 68 | Thedinghausen | Verden |
| | | | 40 | Verden (Aller) | Verden | 69 | Varel | Friesland |
| | | | 41 | Westerstede | Ammerland | | | |
| | | | 42 | Wolfsburg | Wolfsburg | | | |
| | | | 43 | Wunstorf | Hannover | | | |



Beim Feinstaub PM_{10} ist es in erster Linie die Überschreitungshäufigkeit des Grenzwerts für den maximalen Tagesmittelwert ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), der in der Vergangenheit an einigen, vor allem verkehrsnahen Messstationen zum Teil höher lag als der Grenzwert von 35 Tagen pro Jahr. Aus der empirischen Beziehung von Überschreitungshäufigkeit und Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration, die sich aus den langjährigen Messungen an den Stationen des LÜN in Niedersachsen und auch aus Messungen in ganz Deutschland ergeben, lässt sich allerdings ein Wert von $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert ableiten, unterhalb dessen eine mehr als 35-malige Überschreitung des Tagesgrenzwerts von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sicher ausgeschlossen werden kann. Während bei einem PM_{10} -Jahresmittelwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ davon auszugehen ist, dass der Grenzwert von 35 erlaubten Überschreitungstagen erreicht wird.

Bei den Messungen des Messnetzes des Landes Niedersachsen (LÜN) im Bezugsjahr 2011 wurde an keiner Station eine Überschreitung der maximal zulässigen Anzahl der Überschreitungstage für den Tagesgrenzwert der PM_{10} -Konzentration ermittelt [68]. Lediglich zwei Stationen erreichen einen Jahresmittelwert von $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durch das Screening werden hingegen für das Bezugsjahr 2011 insgesamt 19 Städte und Gemeinden identifiziert, in denen ein Hotspot mit einem Jahresmittelwert $\geq 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet wird. Eine Übersicht der Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots bezogen auf diesen statistischen Zusammenhang zwischen Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration und der Überschreitungshäufigkeit des Tagesgrenzwerts ist in Tabelle 9 und Abbildung 49 zu sehen. Wie aber auch schon die Messwerte für das Bezugsjahr 2011 zeigen, bedingt ein Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration von $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder höher nicht zwangsläufig eine Überschreitung der maximalen Anzahl der Überschreitungstage des Tagesgrenzwerts von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ob tatsächlich auch eine mehr als 35-malige Überschreitung des Tagesgrenzwertes für PM_{10} von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gegeben ist, ist durch das genutzte Berechnungsverfahren nicht direkt ermittelbar.

| PM_{10} -JMW | Nr. | Stadt / Gemeinde | Regionale Zuordnung |
|--------------------------------|-----|-------------------------|---------------------|
| $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}$ | 1 | Braunschweig | Braunschweig |
| | 2 | Cloppenburg | Cloppenburg |
| | 3 | Emden | Emden |
| | 4 | Göttingen | Göttingen |
| | 5 | Hannover | Hannover |
| | 6 | Hildesheim | Hildesheim |
| | 7 | Isernhagen | Hannover |
| | 8 | Osnabrück | Osnabrück |
| $\geq 28 \mu\text{g}/\text{m}$ | 9 | Barnstorf | Diepholz |
| | 10 | Buchholz i.d. Nordheide | Harburg |
| | 11 | Celle | Celle |
| | 12 | Hameln | Hameln |
| | 13 | Hann. Münden | Göttingen |
| | 14 | Hansestadt Buxtehude | Stade |
| | 15 | Lingen (Ems) | Emsland |
| | 16 | Papenburg | Emsland |
| | 17 | Soltau | Heidekreis |
| | 18 | Wolfsburg | Wolfsburg |
| | 19 | Wunstorf | Hannover |

Tabelle 9:
Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für PM_{10}

Liste der Kommunen in Niedersachsen mit einem im HErmEliN-Projekt für das Bezugsjahr 2011 berechneten potenziellen Hotspot bezogen auf eine mehr als 35-malige Überschreitung des Tagesgrenzwertes bei einem Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration $\geq 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

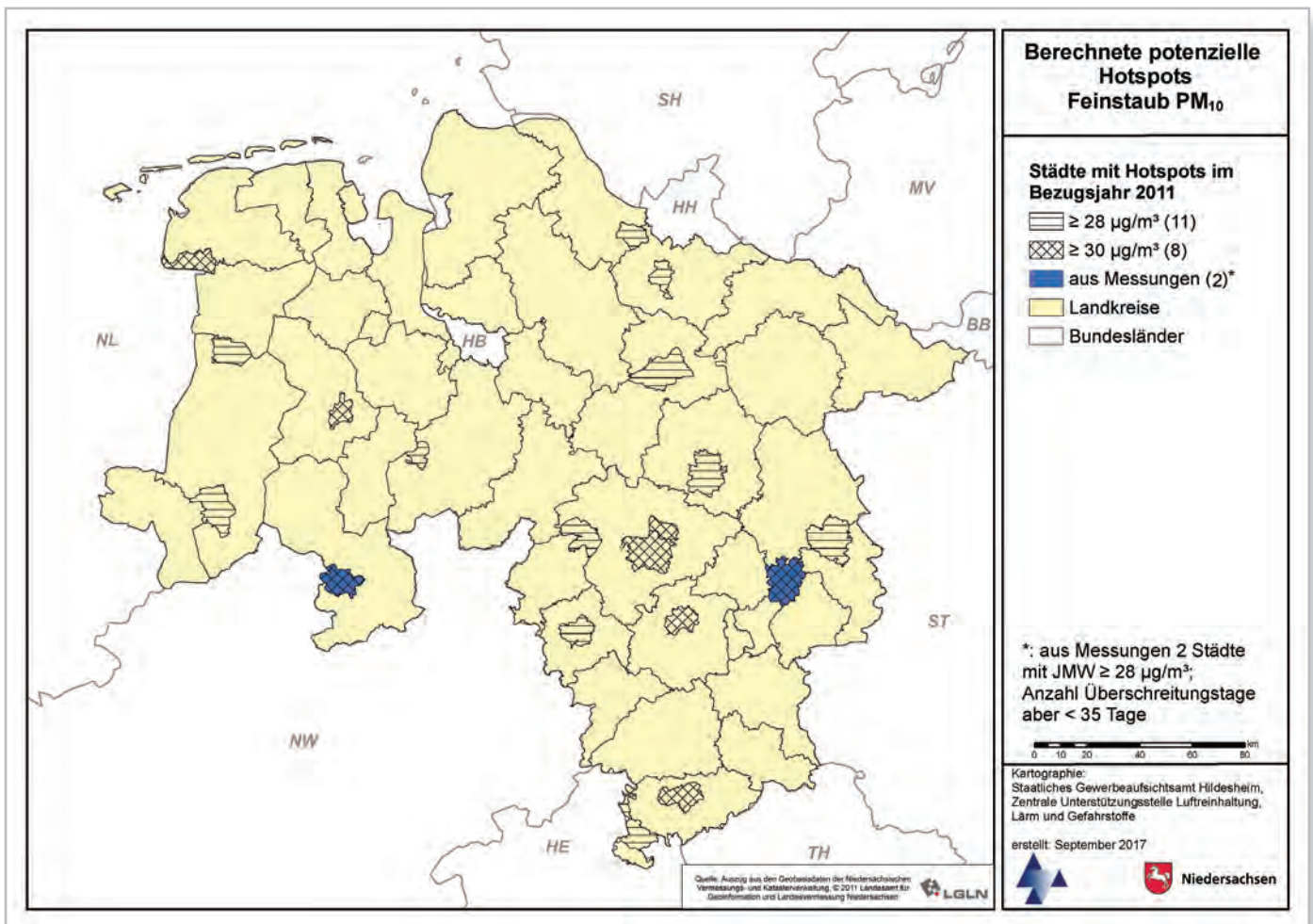


Abbildung 49: Städte und Gemeinden mit berechneten potenziellen Hotspots für PM₁₀

Übersicht der Kommunen mit Straßenabschnitten an denen der berechnete Jahresmittelwert der PM₁₀-Konzentration $\geq 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt sowie der Kommunen mit gemessenen Jahresmittelwerten $\geq 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Bezugsjahr 2011 (2).

Ein Vergleich der gemessenen und der durch das HErmEliN-Projekt berechneten NO₂- und PM₁₀-Belastungen zeigt hinsichtlich der Höhe weitestgehend im Bezugsjahr 2011 eine gute Übereinstimmung. Die dabei ermittelten Abweichungen bewegen sich größtenteils im Rahmen des Datenqualitätszieles der

39. BImSchV. Größere Abweichungen zwischen Modell und Messung sind über die Art und Grenzen des Modells (Parametrisierung von Eingangsgrößen wie z. B. Verkehrsstärke und Porosität der Bebauung sowie fehlende Berücksichtigung von Bewuchs) erklärbar.



10. Fazit und Ausblick

Mit dem HErmEliN-Projekt wurden mehrere Ziele verfolgt, die die Aufgabe der landesweiten Beurteilung der Luftqualität in Niedersachsen unterstützen und ergänzen. Auf der Basis des im HErmEliN-Projekt erstellten ersten landesweiten und räumlich hoch aufgelösten Emissionskatasters für Luftschadstoffe in Niedersachsen konnten Ausbreitungsrechnungen zur Ermittlung einer mittleren jährlichen Hintergrundbelastung durch Luftschadstoffimmissionen durchgeführt werden.

Das erstellte lagebezogene Emissionskataster stellt nun eine Grundlage zur Verfügung, die durch Verbesserungen in der Erhebung der Aktivitätsdaten (z. B. im Offroadverkehr, Schiffsverkehr), in der Methodik der Emissionsermittlung (z. B. Emissionsfaktoren im Flugverkehr, im Hausbrand) und in der Verortung der ermittelten Emissionen (z. B. in der Landwirtschaft) laufend aktualisiert werden soll. Weitere Ausbreitungsrechnungen zur Berechnung einer (laufend oder in einem regelmäßigen Turnus) aktualisierten Hintergrundbelastung oder mit anderen Zielen (Szenarioberechnungen zur Quellzuordnung oder zu anderen Fragestellungen) können mithin realisiert werden. Eine regelmäßige Aktualisierung des erstellten Emissionskatasters wird vor diesem Hintergrund angestrebt. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, das Emissionskataster auf weitere Quellbereiche (z. B. Flugverkehr, biogene Quellen) und weitere Stoffe für alle Quellbereiche auszudehnen (NH_3 , SO_2 , CO , C_nH_m , etc.).

Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse für das Emissionskataster mit der nach einem top-down-Ansatz berechneten Emissionsverteilung durch das deutsche Umweltbundesamt mit dem Gridding Emissions Tool for ArcGIS (GRETA) wird in der Zukunft angestrebt. Als Grundlage für diese Verteilung dienen die nicht lagebezogenen offiziell gemeldeten Emissionsmengen von Luftschadstoffen für Deutschland. Erkenntnisse zu eventuell bislang im HErmEliN-Emissionskataster fehlenden Emissionsquellen könnten daraus gewonnen werden. Zusätzlich trägt die Rückkopplung der Ergebnisse des HErmEliN-Projektes mit den top-down-Daten des UBA auch zur Verbesserung des dafür genutzten Emissionskatasters bei.

Vor diesem Hintergrund bietet sich auch die Möglichkeit mithilfe einer Ausweitung der Erfassung auf die Emissionen der Stoffe Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) in allen Quellbereichen, lokale bis regionale klimarelevante Reduktionspotenziale zu identifizieren. Mithilfe einer Verbesserung der Ausgangslage bezüglich der Quellen für NH_3 (räumliche Verortung und Emissionsstärke) kann auch eine Verbesserung der Kenntnisse zur Stickstoffdeposition und dem Eintrag in Ökosysteme in Niedersachsen erzielt werden. Dieses Thema ist von einer zunehmenden Relevanz, da der Stickstoffeintrag zu einer Versauerung der Böden beiträgt und durch die Auswaschung in Form von Nitrat NO_3^- in das Grundwasser auch dieses in zunehmenden Maße verunreinigt.

Die für die Erstellung des Emissionskatasters geleisteten Vorarbeiten auf Seiten der geometrischen Eingangsdaten wie z. B. dem Straßennetz und dem Gebäudedatensatz,

liefern auch an anderer Stelle (z. B. Umgebungslärmkartierung) wichtige Verbesserungen der Datenqualität.

Auch die aus der landesweiten dreidimensionalen Windfeldmodellierung erzielten räumlich und zeitlich repräsentativen meteorologischen Daten sowie der Clusteranalyse zur Identifizierung von Bereichen mit ähnlichen Ausbreitungsbedingungen in Niedersachsen wurden nicht nur für das HErmEliN-Projekt genutzt. Sie bilden zudem die Ausgangsbasis für die Positionierung von Messungen der meteorologischen Bedingungen für die Schallausbreitung in Niedersachsen.

Das eigentliche Hauptziel des HErmEliN-Projektes war die systematische Suche nach den tatsächlichen Hotspots der Luftschadstoffbelastung in Niedersachsen. Auf der Grundlage der ermittelten Emissionen und der daraus berechneten landesweiten Hintergrundbelastung für Niedersachsen, konnten die potenziellen Schwerpunkte der Luftschadstoffbelastung bestimmt werden. Da die berechneten Zusatzbelastungen durch den Straßenverkehr in Ermangelung realer Zählzeiten teilweise auf synthetisch erzeugten Daten beruhen, ist die Liste der ermittelten Hotspots nur vorläufig und nicht endgültig verifiziert.

Für die nahe Zukunft ist für die Bereiche mit ermittelten hohen Belastungen die Erhebung von realen Verkehrsdaten vorgesehen. In Zusammenarbeit mit den Kommunen werden zunächst in den betroffenen Städten und Gemeinden neue Berechnungen der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr mit Realdaten und eventuell auch für ein aktuelles Bezugsjahr vorgenommen werden. Hierdurch wird es zu Veränderungen der Emissionen und in der Folge auch der berechneten Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr an den jeweiligen Standorten kommen. In einem weiteren Schritt soll diese Validierung auch auf weitere Kommunen ausgedehnt werden, in denen zwar geometrisch-potenzielle, nicht aber berechnete Hotspots auftreten. Hierdurch kann es zu einer Verschiebung der Anzahl der betroffenen Städte und Gemeinden kommen.

Auf der anderen Seite schränkt die modellbedingte Parametrisierung der Umgebungsvariablen und die damit verbundene Vorauswahl der Bedingungen für geometrisch-potenzielle Belastungsschwerpunkte die Zahl der gefundenen Hotspots ein. Aus Messungen sind Situationen bekannt, in denen es trotz günstiger geometrischer Voraussetzungen an einem Standort zu hohen Luftschadstoffbelastungen kommen kann. Da eine systematische Suche nach solchen Situationen nicht möglich ist, wird in der Zukunft eine anlassbezogene Analyse im Einzelfall angestrebt.

Um eine tatsächliche Überschreitung eines Grenzwerts der 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit feststellen zu können, bedarf es Messungen nach den Vorgaben der 39. BImSchV. Nach der Identifizierung der berechneten Hotspots ist der darauf folgende Arbeitsschritt somit in enger Abstimmung mit den betroffenen Städten und Gemeinden, Messungen zur Bestimmung der Luftqualität an den ermittelten Straßenabschnitten durchzuführen.

11. Literatur

- [1] Deutscher Bundestag, Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV), 2010.
- [2] EU, Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa: 2008/50/EG, 2008.
- [3] Verwaltungsgericht Hamburg, Luftreinhalteplan der Stadt Hamburg – zum Anspruch auf Einhaltung des Grenzwertes (Jahresmittelwertes) für Stickstoffdioxid, 2014, VG-Hamburg vom 05.11.2014 – 9 K 1280/13.
- [4] EUGH, Vorlage zur Vorabentscheidung – Umwelt – Luftqualität – Richtlinie 2008/50/EG – Grenzwerte für Stickstoffdioxid – Verpflichtung, unter Vorlage eines Luftqualitätsplans um Fristverlängerung zu ersuchen – Sanktionen, 2014, EuGH vom 19.11.2014 – C-404/13.
- [5] IVU Umwelt, Meteorologie-Daten für HErmEliN: Endbericht. Im Auftrag des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim, Freiburg, 2014.
- [6] IVU Umwelt, Kopplungs-Daten im Rahmen von HErmEliN: Endbericht. Im Auftrag des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim, Freiburg, 2014.
- [7] IVU Umwelt, Anwendung von EKatDyn für Niedersachsen: Dokumentation. Im Auftrag des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim, Freiburg, 2015.
- [8] GAA Hildesheim, HErmEliN: Methodik der Emissionsermittlung, Hildesheim, 2017.
- [9] IVU Umwelt, Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Niedersachsen auf Grundlage von Ausbreitungsrechnungen und unter Berücksichtigung von gemessenen Immissionsmessdaten: Teil 1: Ausbreitungsrechnung. Im Auftrag des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim, Freiburg, 2015.
- [10] IVU Umwelt, Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Niedersachsen auf Grundlage von Ausbreitungsrechnungen und unter Berücksichtigung von gemessenen Immissionsmessdaten: Teil 2: Erstellung der Vorbelastung. Im Auftrag des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim, Freiburg, 2016.
- [11] IVU Umwelt, Anwendung von Autobuild für Niedersachsen: Dokumentation. für das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Freiburg, 2016.
- [12] GAA Hildesheim, HErmEliN: Hotspot-Ermittlung, Hildesheim, 2017.
- [13] NML, Wild und Jagd: Landesjagdbericht 2009, Hannover, 2010.
- [14] Statistisches Bundesamt, Flächennutzung in Deutschland: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. Stand 31.12.2014, Wiesbaden, 2015.
- [15] UBA, CORINE Land Cover: (CLC2006), 2009.
- [16] NLWKN, Naturschutzgebiete in Niedersachsen, 2016, http://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/schutzgebiete/einzelnen_naturschutzgebiete/die-naturschutzgebiete-niedersachsens-45299.html.
- [17] LSN, Niedersachsen-Monitor 2015, Hannover, 2015.
- [18] Statistisches Bundesamt, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Viehhaltung der Betriebe, Agrarstrukturhebung 2013. Fachserie 3 Reihe 2.1.3, Wiesbaden, 2014.
- [19] NLS, Niedersachsen: Das Land und seine Regionen. Land, Bezirke, Landkreise, Kreisfreie Städte, Hannover, 2007.
- [20] BMWF, Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch, am Endenergieverbrauch für Wärme und am Endenergieverbrauch für Verkehr: Entwicklung von 1990 bis 2015, Berlin, 2016.
- [21] LSN, Statistische Monatshefte Niedersachsen. 07/2016, Hannover, 2016.
- [22] VDI, Stadtklima und Luftreinhaltung: Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1988.
- [23] Deutscher Bundestag, Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen – 13. BImSchV), 2013.
- [24] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, 2002.
- [25] EEA, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories, Luxemburg, 2013.
- [26] DGUV, GESTIS-Stoffdatenbank: Gefahrstoffinformationssystem, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., 2016.
- [27] D. Kallweit, B. Bünger, Umwelt und Mensch – Informationsdienst (November 2015) 69–72.
- [28] WHO, Ambient Outdoor Air Quality and Health: Fact sheet No. 313, Copenhagen, 2014.



- [29] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Feinstaub: Diffuser Staub - Klares Handeln, 2010.
- [30] C. Büns, M. Fiebig, S. Jacobs, O. Klemm, N. Plagemann, M. Scholz, S. Wagener, T. Wrzesinsky, Lufthygiene: Begleittext zum Doppelblatt 1. aus dem Themenbereich IV Siedlung, Geographisch-landeskundlicher Atlas von Westfalen 13 (2007).
- [31] B. Lohrengel, A. Hainsch, U. Dämmgen, E. Klasmeier, M. Köster, Räumliche und zeitliche Variation von Ammoniak-Konzentrationen in der Außenluft, Immissionschutz 13 (2013) 112–119.
- [32] EU, Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe: 2001/81/EG, 2001.
- [33] Deutscher Bundestag, Einunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV), 2001.
- [34] Deutscher Bundestag, Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen – 11. BImSchV), 2013.
- [35] Fachverband Biogas e.V., Branchenzahlen 2014 und Prognose der Branchenentwicklung 2015, 2015, [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/15-11-19_Biogas%20Branchenzahlen-2014_Prognose-2015_final.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/15-11-19_Biogas%20Branchenzahlen-2014_Prognose-2015_final.pdf), accessed 26 April 2016.
- [36] 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen, Biogas in Niedersachsen: Inventur 2014. 6. überarbeitete Auflage, 6th ed., Hannover, 2014.
- [37] M. Struschka, D. Kilgus, M. Springmann, G. Baumbach, Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung: Forschungsbericht 205 42 322. UBA-FB 001217, Stuttgart, 2008.
- [38] INFRAS, HBEFA 3.2: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Bern, 2014.
- [39] IVU Umwelt, IMMIS^{em/luft}: Handbuch Version 6, Freiburg, 2015.
- [40] EBA, Stillgelegte Strecken in Deutschland, 2015, http://www.eba.bund.de/DE/HauptNavi/Infrastruktur/Stilllegung/stilllegung_node.html, accessed 4 July 2016.
- [41] BFG, Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen: Version 3.0. VerkNet-BWaStr, 2013, https://www.wsv.de/service/karten_geoinformationen/verknet_bwastr/index.html, accessed 5 March 2016.
- [42] WSD Mitte, Verkehrsbericht 2012: Verkehrsaufkommen und Verkehrsströme auf den Bundeswasserstraßen im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte 2012, Hannover, 2013.
- [43] WSD Ost, Verkehrsbericht der WSD Ost 2012: Binnenschifffahrt in Zahlen, Magdeburg, 2013.
- [44] WSD West, Verkehrsbericht 2012: Niederrhein und westdeutsches Kanalnetz, Münster, 2013.
- [45] Statistisches Bundesamt, Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt 2012. Fachserie 8 Reihe 4, Wiesbaden, 2013.
- [46] Statistisches Bundesamt, Seeschifffahrt 2012. Fachserie 8 Reihe 5, Wiesbaden, 2013.
- [47] IFEU, Fortschreibung und Erweiterung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“: TREMOD, Version 5. Endbericht, Heidelberg, 2010.
- [48] UBA, ProBas: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, 2016, www.probas.umweltbundesamt.de, accessed 6 July 2016.
- [49] KBA, Fahrzeugzulassungen (FZ): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2015. FZ 15, 2015.
- [50] Statistisches Bundesamt, Verkehr: Verkehr aktuell. 09/2015, Wiesbaden, 2015.
- [51] UBA, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen: 1990-2014. Endstand 23.12.2015, Dessau, 2016.
- [52] Umweltbundesamt, German Informative Inventory Report: IIR 2017, 2017.
- [53] LUWG, Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012, Mainz, 2014.
- [54] IVU Umwelt. E-Mail.
- [55] LUBW, Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2012, Karlsruhe, 2015.
- [56] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Online-Service Emissionskataster Hessen, 2017, <http://emissionskataster.hlug.de>, accessed 12 March 2017.
- [57] LfULG, Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen in Sachsen: Verursacher und Trends. Stand Juni 2012, Dresden, 2012.
- [58] IFEU, Entwicklung der Emissionen des Verkehrs in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2025: Arbeiten im Rahmen der Fortschreibung des Generalverkehrsplans Baden-Württemberg, Heidelberg, 2009.

- [59] LANUV, Emissionskataster für den Schiffsverkehr in NRW 2012: LANUV-Fachbericht 67, Recklinghausen, 2016.
- [60] A. Kerschbaumer, E. Reimer, Erstellung der meteorologischen Eingangsdaten für das REM/CALGRID-Modell: Modellregion Berlin-Brandenburg.: Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben FE-Vorhaben 299 43 246, 2003.
- [61] E. Reimer, B. Scherer, An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling, *Air Poll. Modelling and its Applications IX* (1992).
- [62] R. Stern, Das chemische Transportmodell REM-CALGRID: Modellbeschreibung. Stand Januar 2009, Berlin, 2009.
- [63] M. Schaap, C. Cuvelier, C. Hendriks, B. Bessagnet, J.M. Baldasano, A. Colette, P. Thunis, D. Karam, H. Fagerli, A. Graff, Performance of European chemistry transport models as function of horizontal resolution, *Atmospheric Environment* 112 (2015) 90–105.
- [64] C. Cuvelier, P. Thunis, D. Karam, M. Schaap, C. Hendriks, R. Kranenburg, H. Fagerli, A. Nyiri, D. Simpson, P. Wind, ScaleDep: performance of European chemistry-transport models as function of horizontal spatial resolution, *EMEP Report 1* (2013).
- [65] W. Jörß, L. Emele, M. Scheffler, V. Cook, V. Handke, J. Theloke, B. Thiruchittampalam, F. Dünnebeil, W. Knörr, C. Heidt, M. Jozwicka, J. Kuenen, Denier van der Gon, H.A.C., A. Visschedijk, R.N. van Gilswijk, B. Osterburg, B. Laggner, R. Stern, Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien: Forschungskennzahl 3710 43 219. Texte 35/2014, Dessau-Roßlau, 2014.
- [66] P. Lenschow, H.-J. Abraham, K. Kutzner, M. Lutz, J.-D. Preuss, W. Reichenbacher, Some ideas about the sources of PM₁₀, *Atmospheric Environment* 35 (2001) S23-S33.
- [67] IVU Umwelt, IMMIS^{build}: Handbuch Version 2.4, Freiburg, 2012.
- [68] GAA Hildesheim, Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen: Jahresbericht 2011, Hildesheim, 2012.
- [69] Tele Atlas, MultiNet®: Straßennetzdatenbank, Logiball GmbH, 2010.
- [70] Deutscher Bundestag, Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV), 2013.
- [71] BBSR, Laufende Raumbbeobachtung: Raumabgrenzungen, Raumtypen 2010, 2012, http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Raumabgrenzungen/Raumtypen2010_vbg/Raumtypen2010_alt.html, accessed 15 April 2016.



12. Anhang

12.1 Messstationen der Lufthygienischen Überwachung Niedersachsen (LÜN)

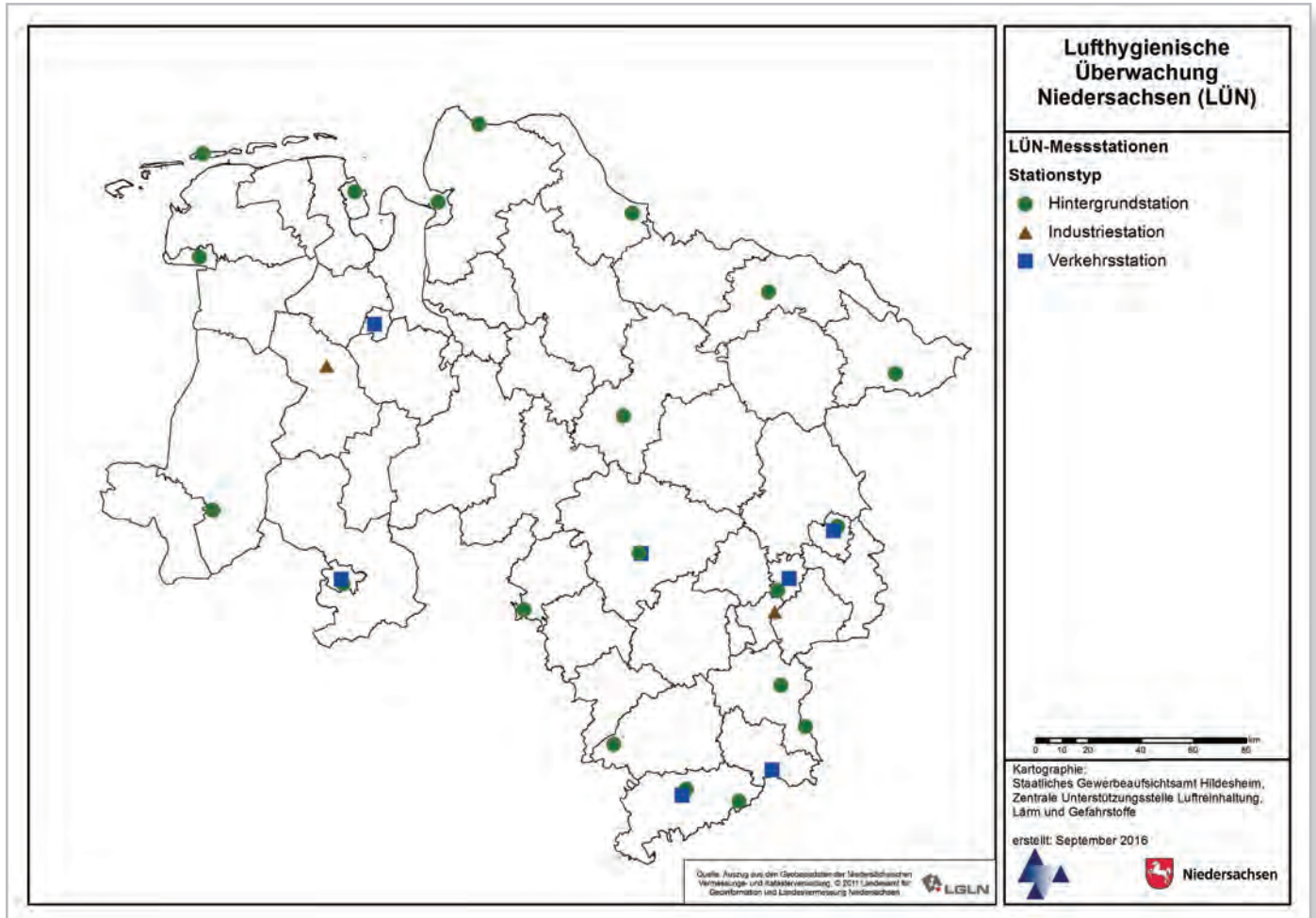


Abbildung 50: Messstationen Lufthygienische Überwachung Niedersachsen (LÜN)
Standorte der Messstationen der Lufthygienischen Überwachung Niedersachsen (LÜN), unterschieden nach Stationstyp (Hintergrundstation, Industriestation, Verkehrsstation; Stand September 2016)

12.2 Verteilung der Emissionen der Quellgruppen

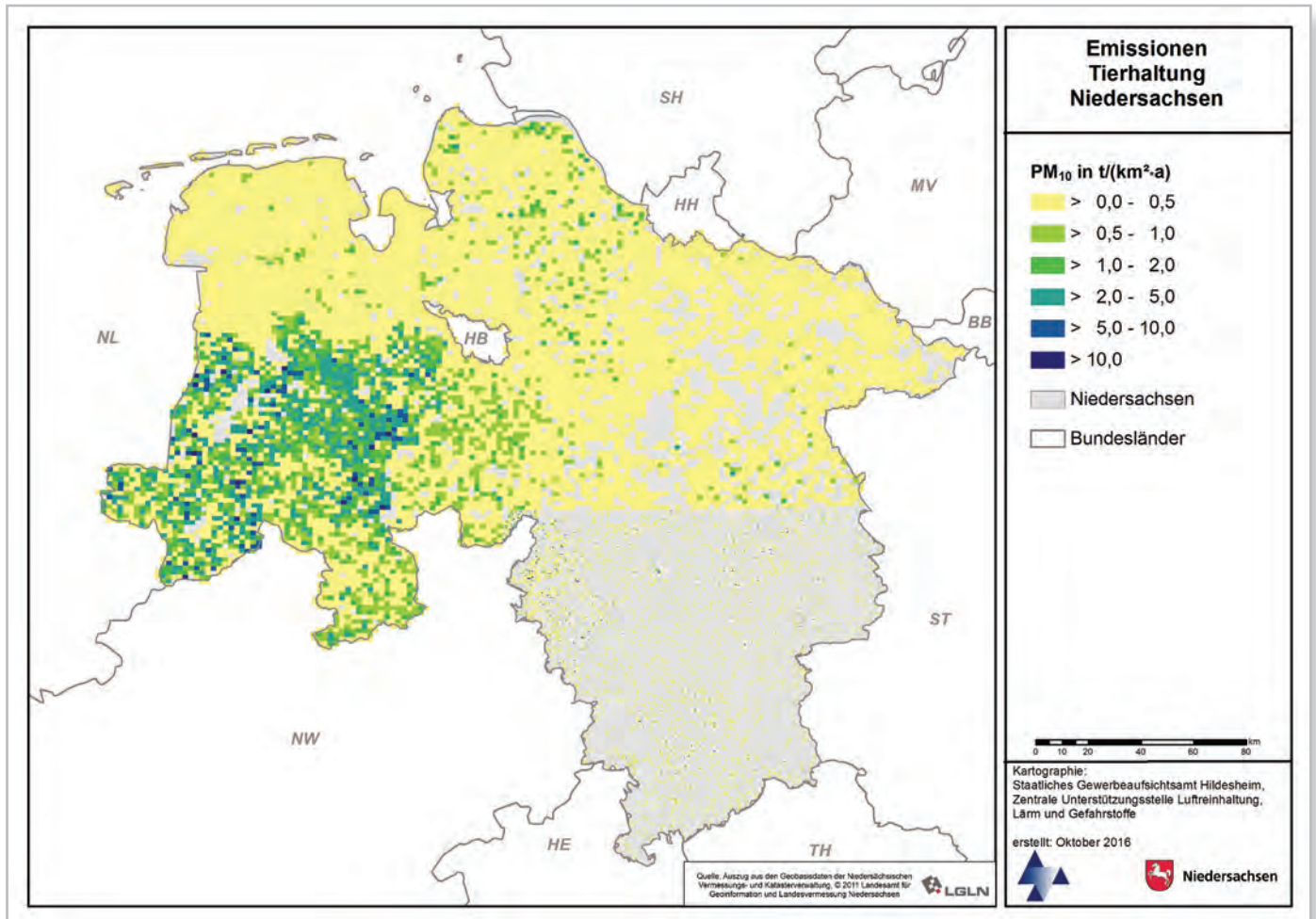


Abbildung 51: PM₁₀-Emissionen Tierhaltung

Darstellung der im HErmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch die Tierhaltungen der Landwirtschaft in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

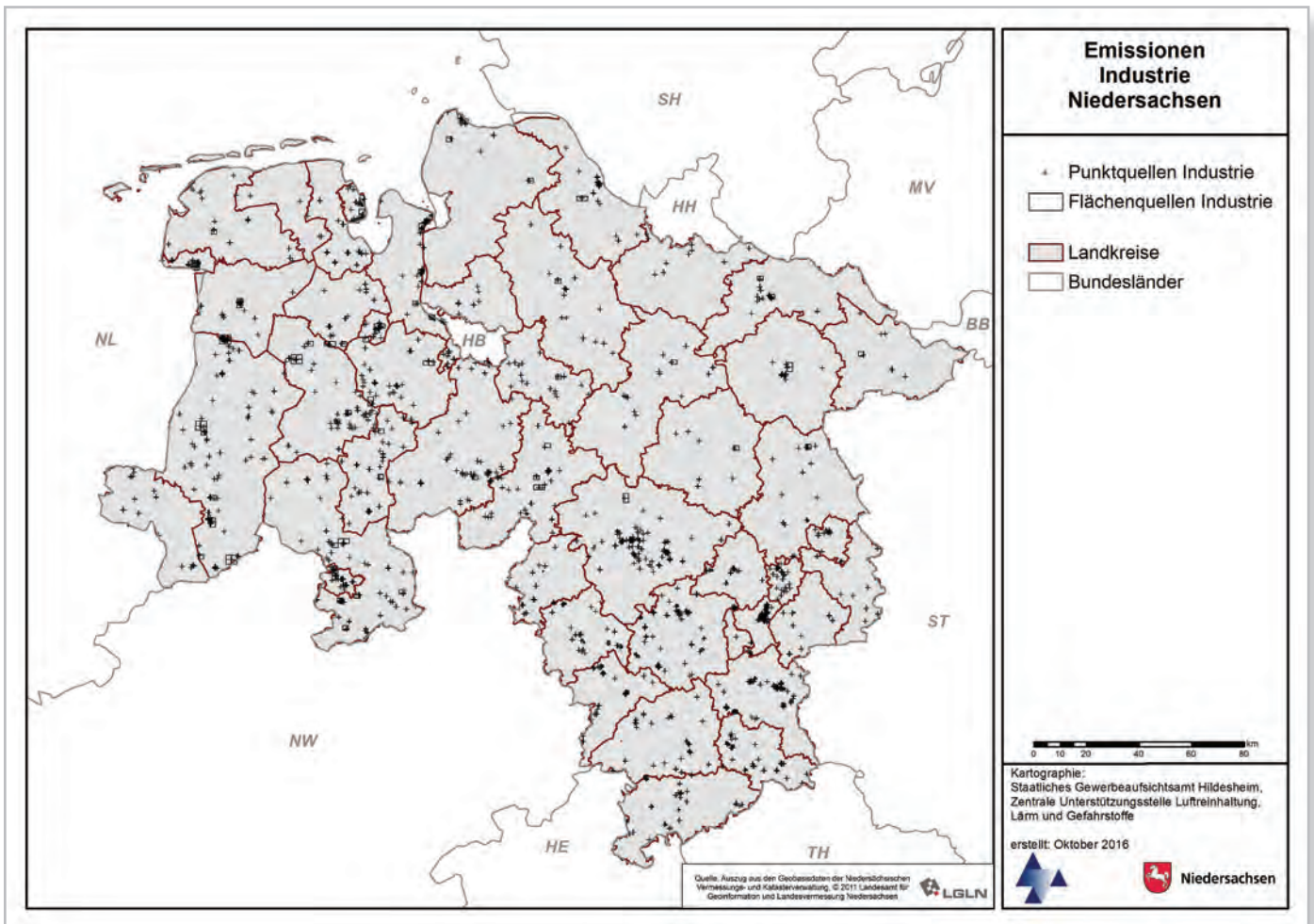


Abbildung 52: Emissionsquellen Industrie

Verteilung der Punkt- und Flächenquellen der Industrie aus den vorliegenden BUBE-Online-Daten ohne Landwirtschaft und ohne Biogasanlagen; Punktquellen für alle Stoffe, Flächenquellen nur für Feinstaub (PM_{10}) in Niedersachsen

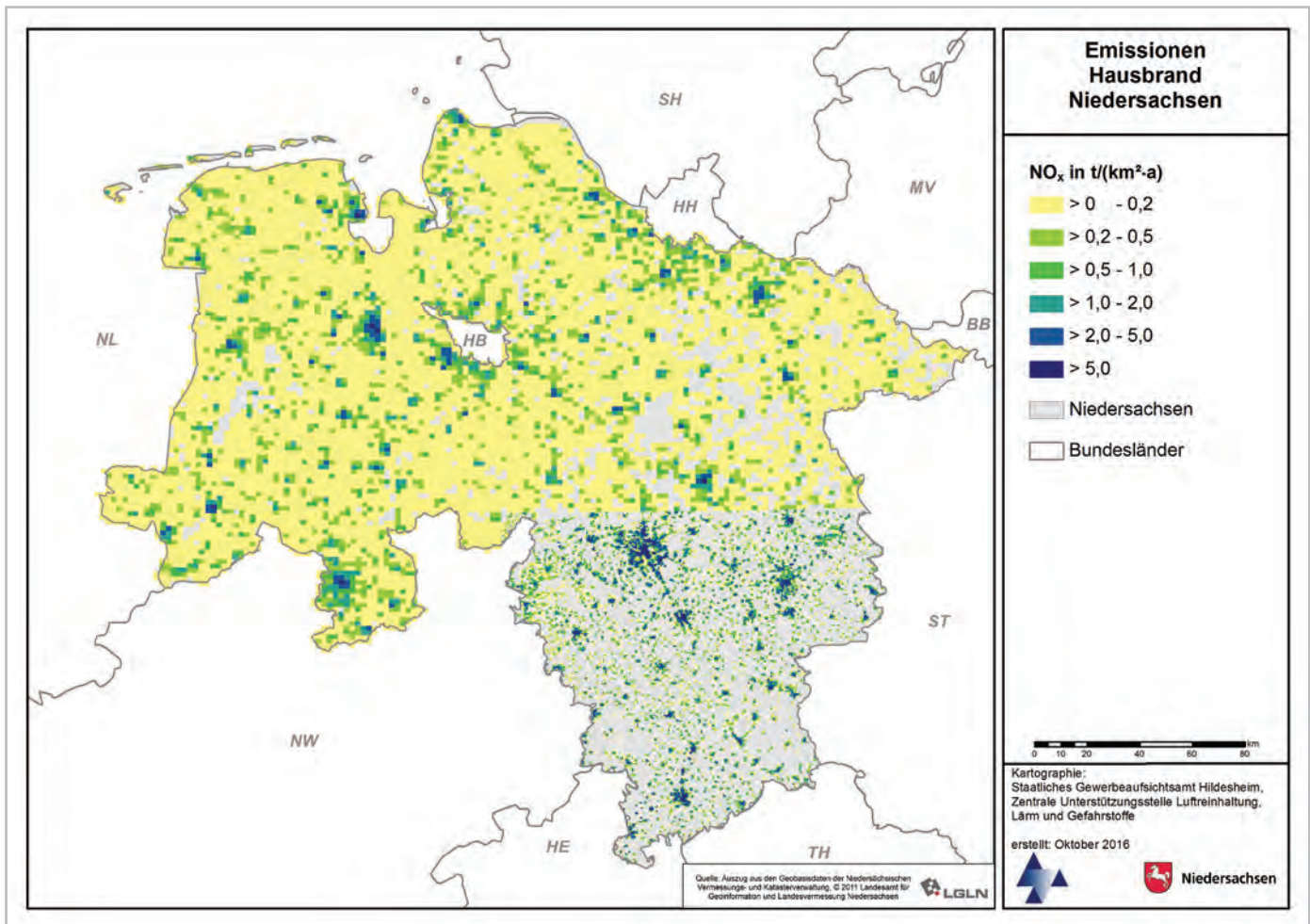


Abbildung 53: NO_x-Emissionen Hausbrand

Darstellung der im HERmELiN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Hausbrand in t/(km²·a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

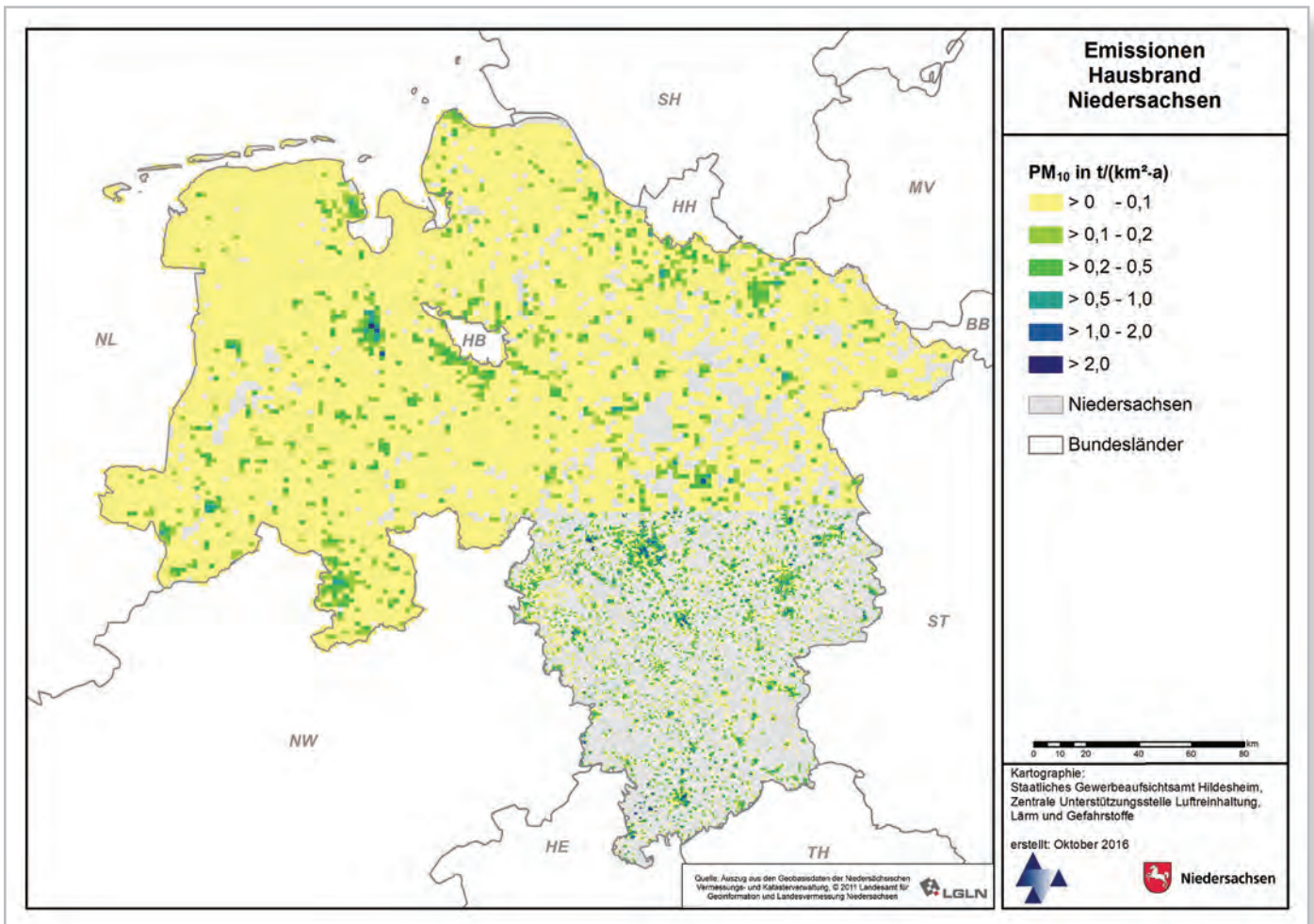


Abbildung 54: PM₁₀-Emissionen Hausbrand

Darstellung der im HERmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Hausbrand in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

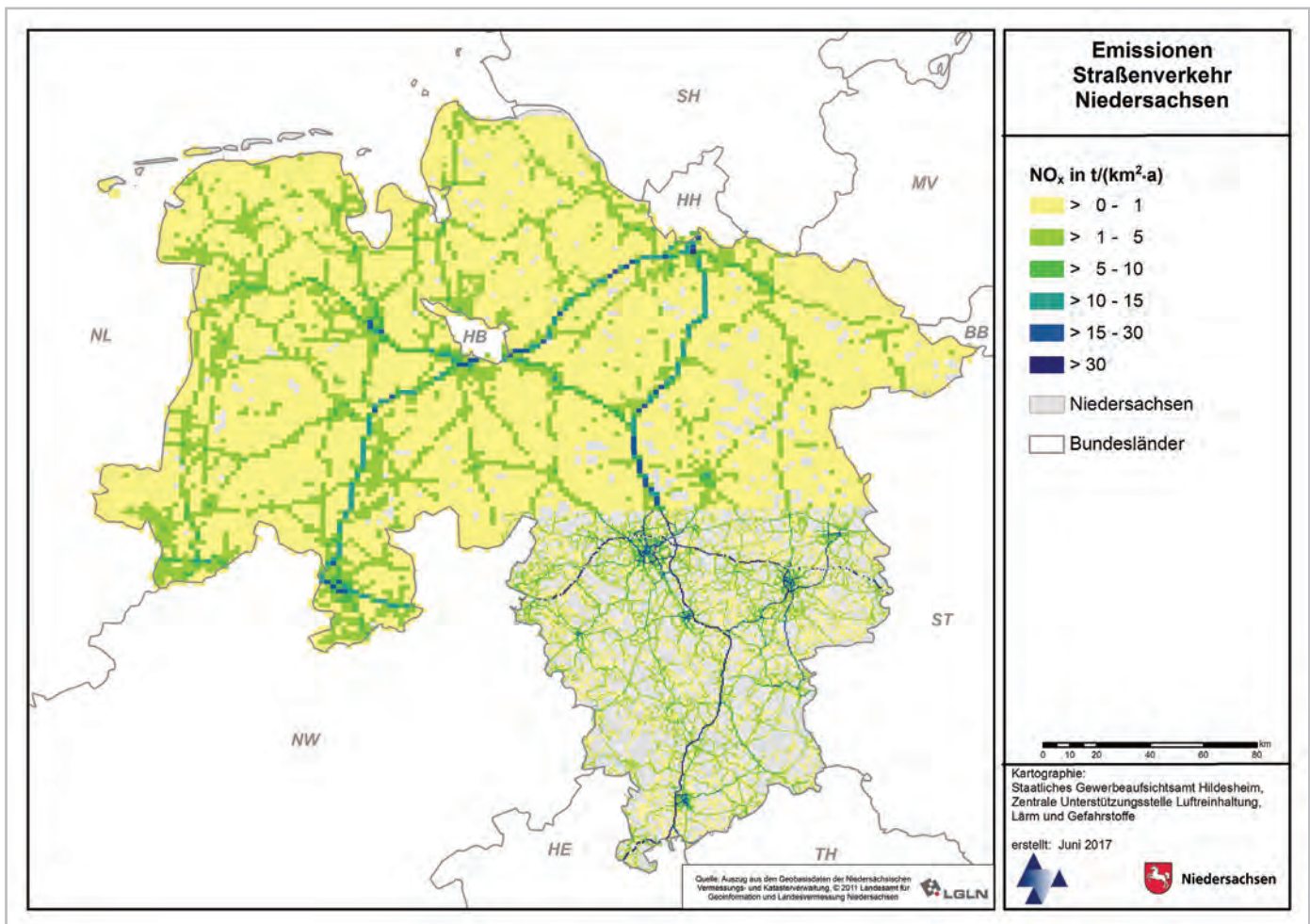


Abbildung 55: NO_x-Emissionen Straßenverkehr

Darstellung der im HErmEliN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Straßenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

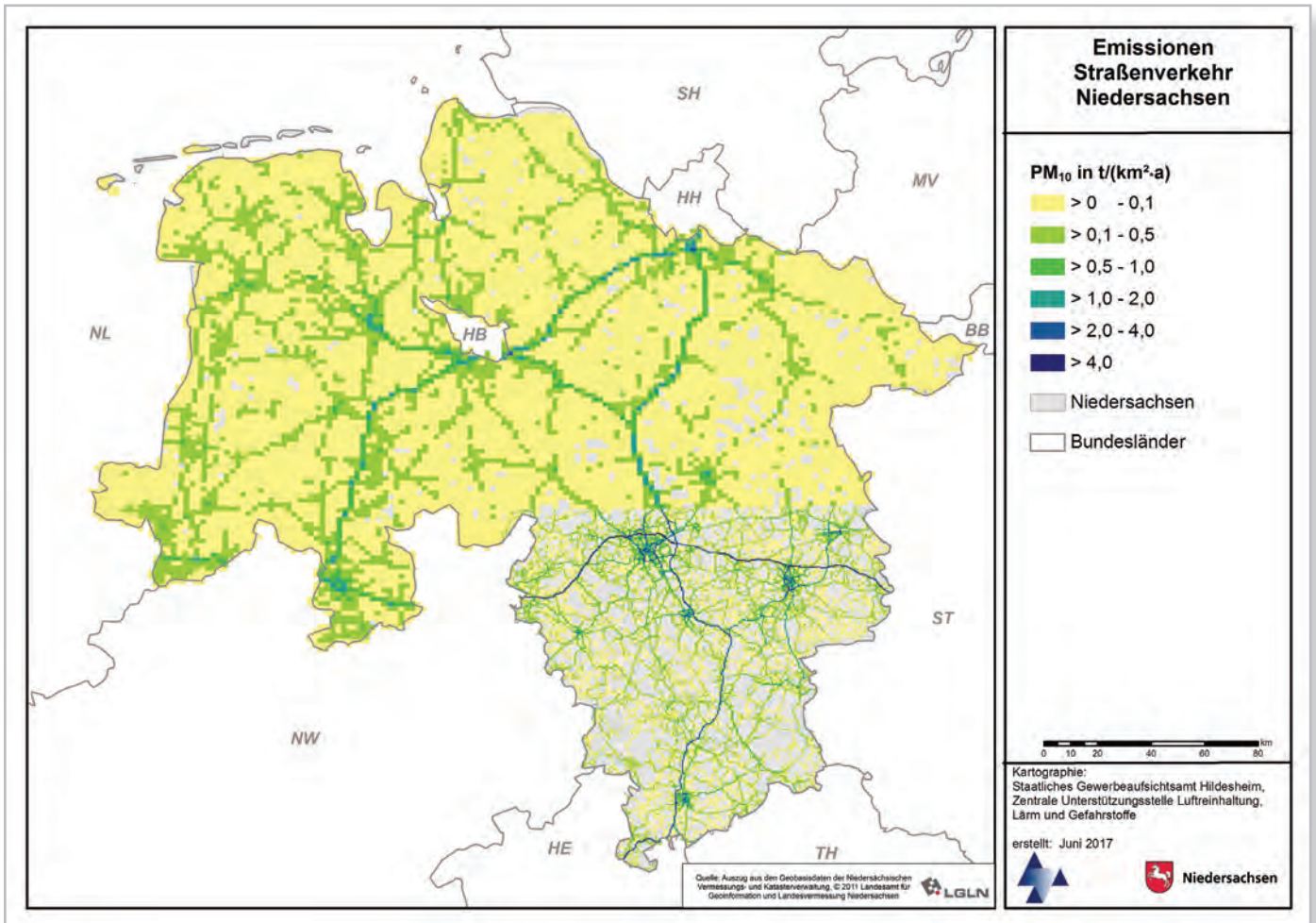


Abbildung 56: PM₁₀-Emissionen Straßenverkehr

Darstellung der im HERmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Straßenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

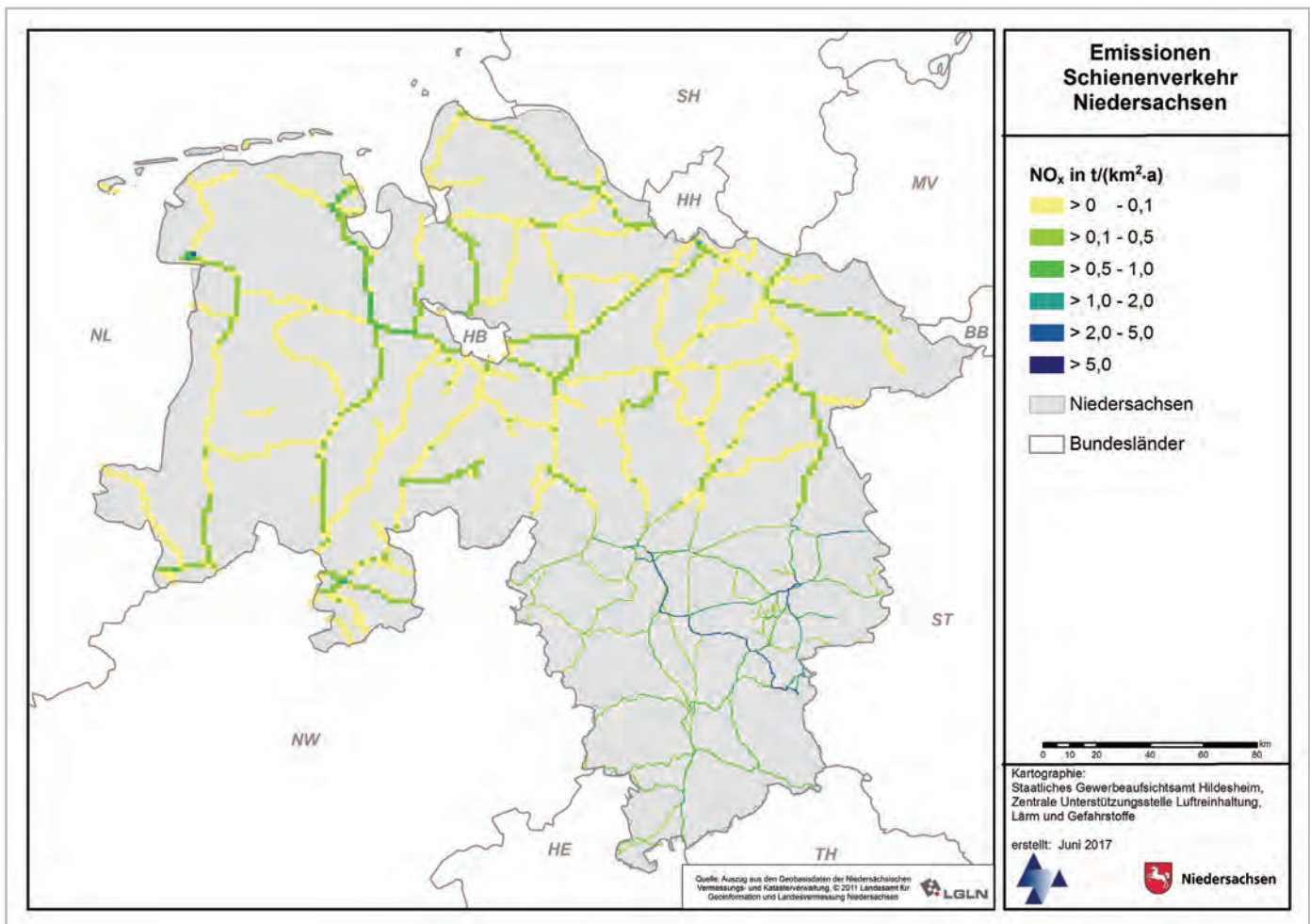


Abbildung 57: NO_x-Emissionen Schienenverkehr

Darstellung der im HErmEliN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Schienenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

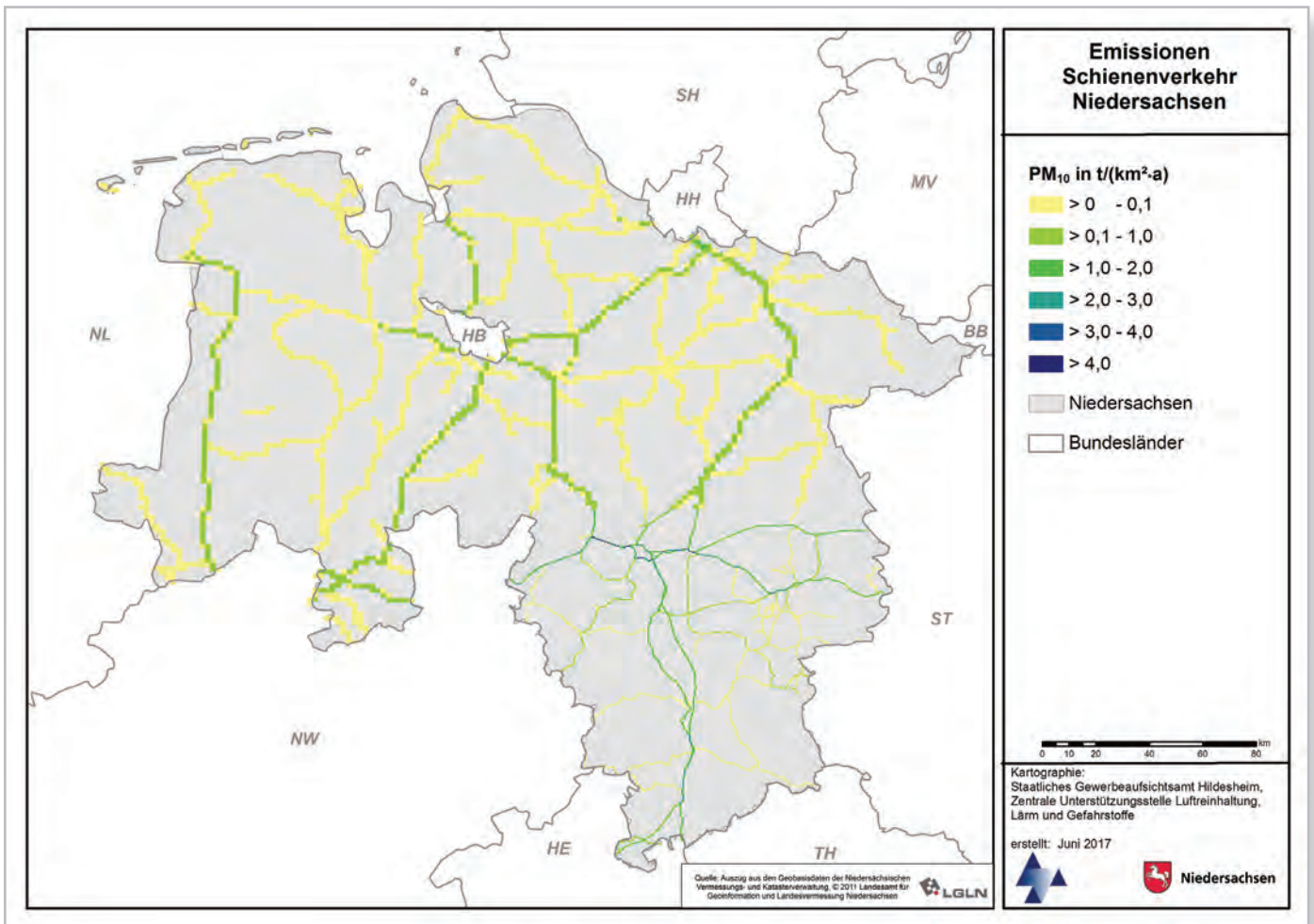


Abbildung 58: PM₁₀-Emissionen Schienenverkehr

Darstellung der im HERmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Schienenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

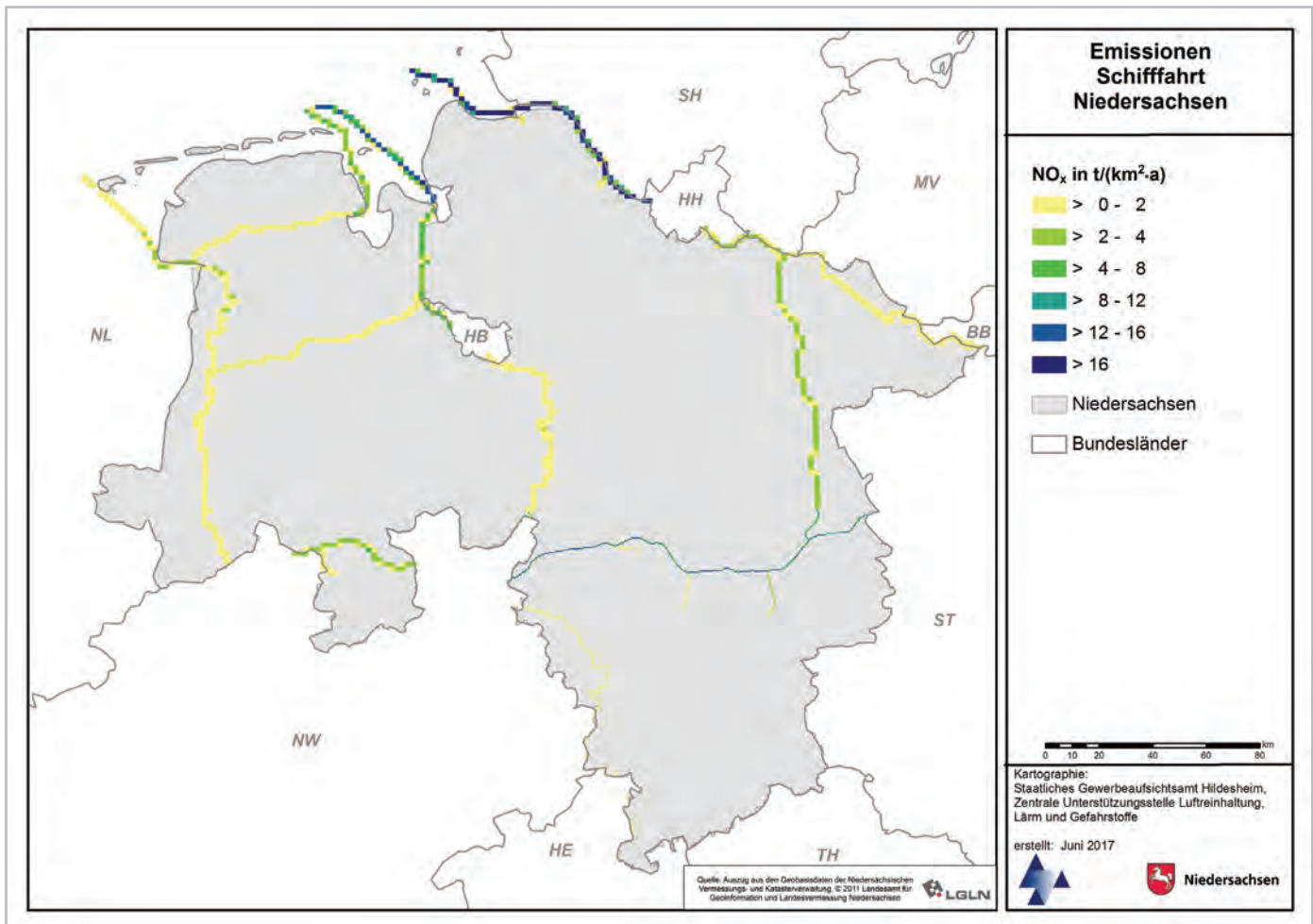


Abbildung 59: NO_x-Emissionen Schifffahrt

Darstellung der im HErmEliN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch die Schifffahrt in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

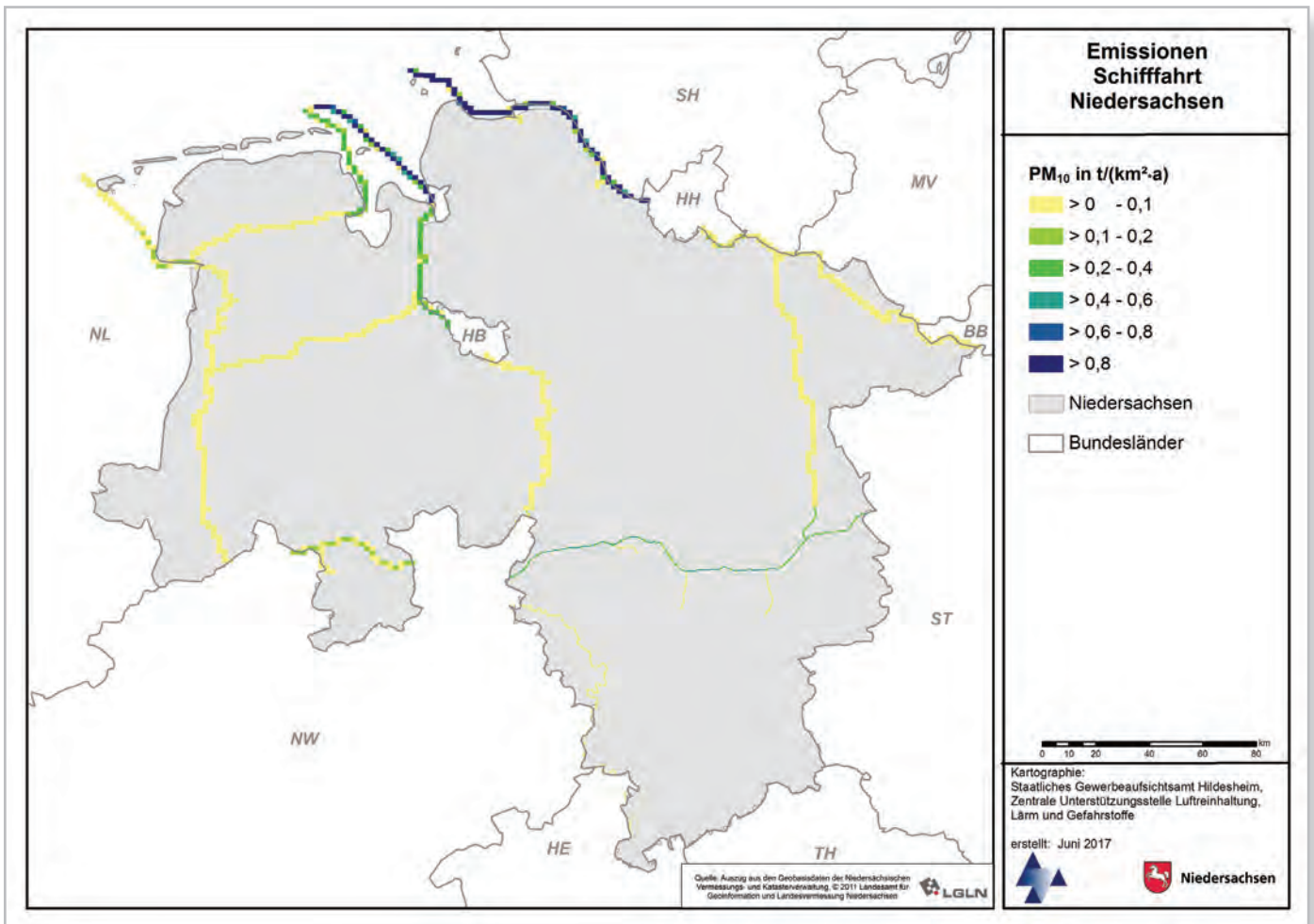


Abbildung 60: PM₁₀-Emissionen Schifffahrt

Darstellung der im HERmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch die Schifffahrt in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

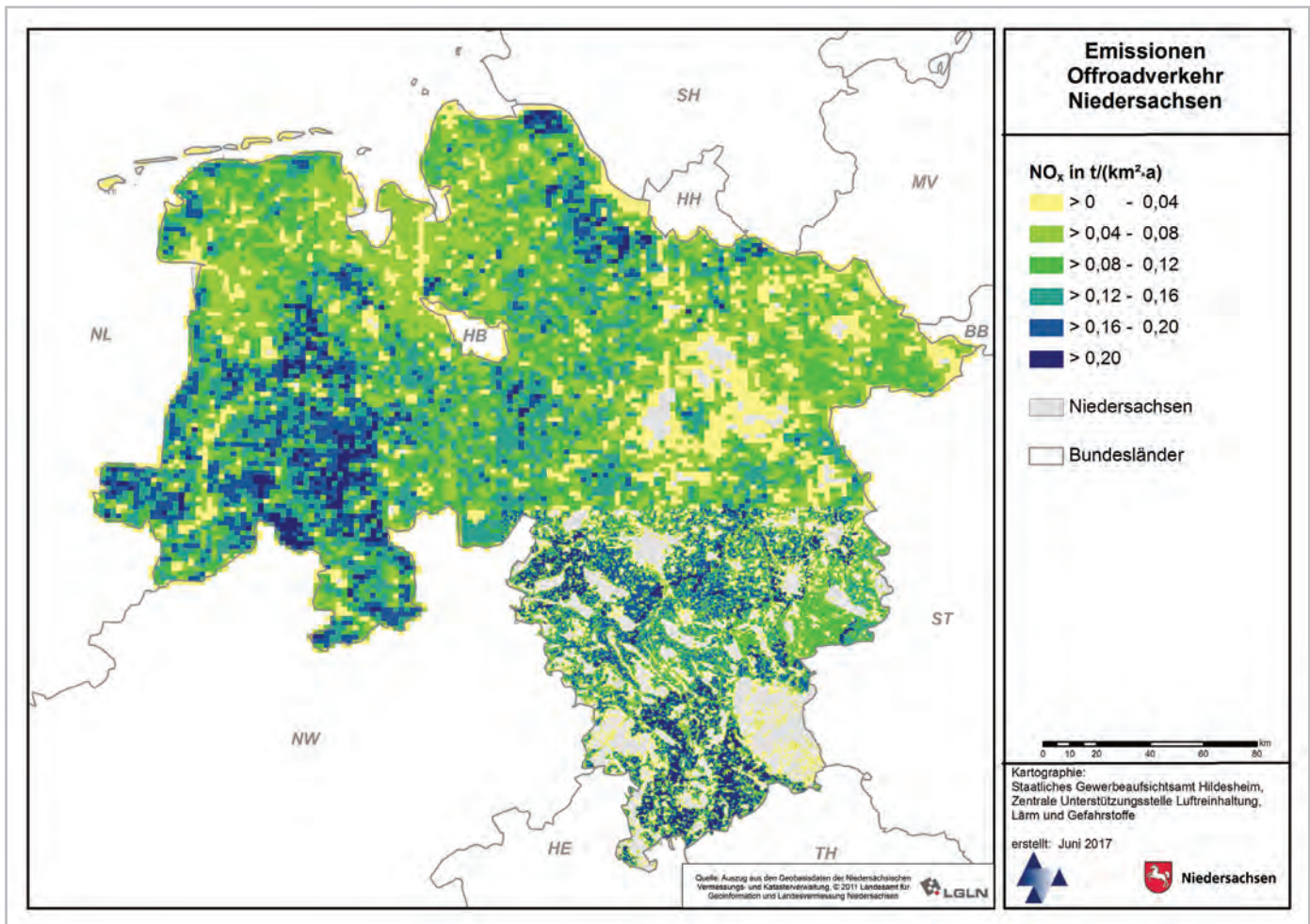


Abbildung 61: NO_x-Emissionen Offroadverkehr

Darstellung der im HErmELiN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Offroadverkehr landwirtschaftlicher Zugmaschinen in t/(km²·a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

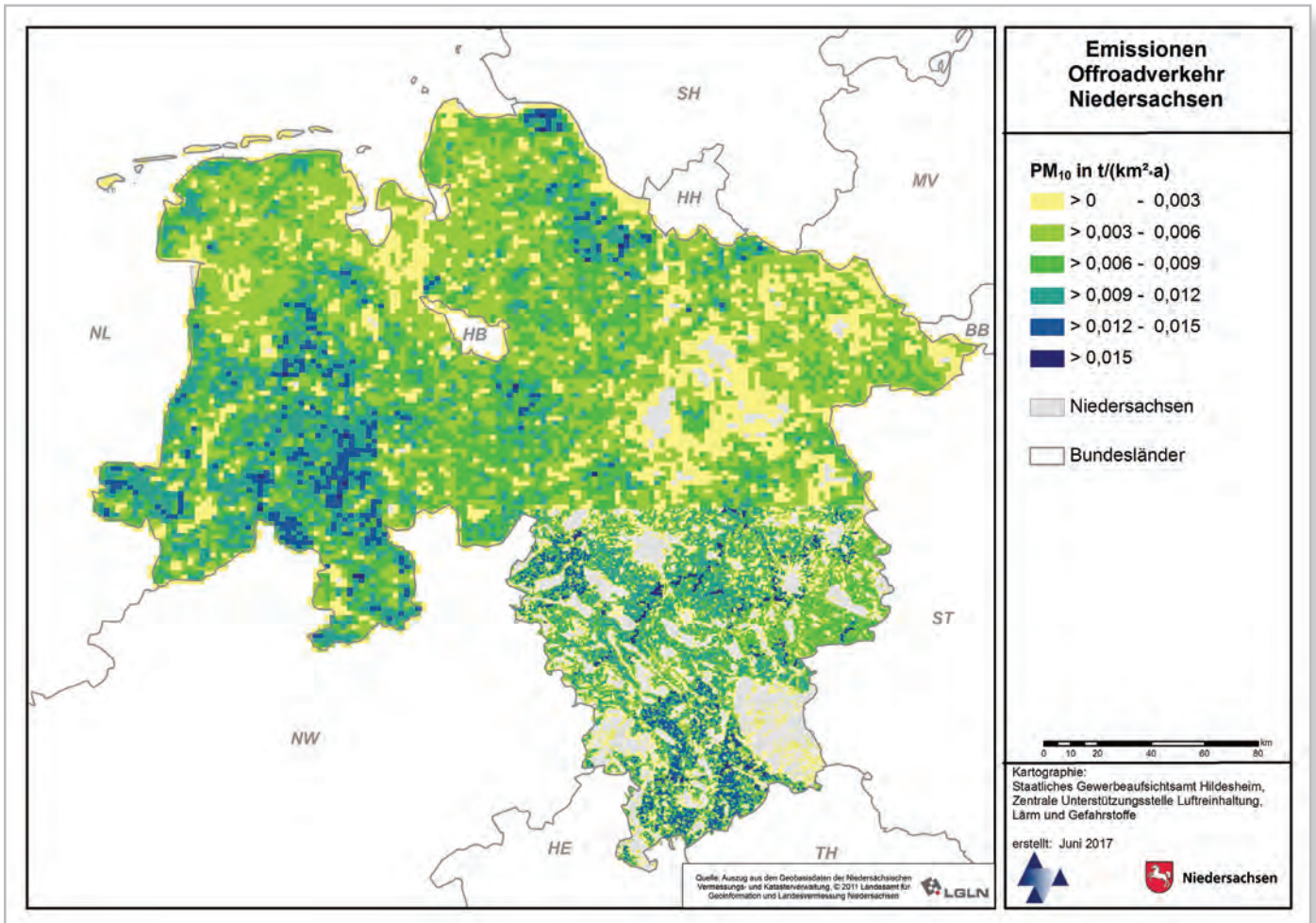


Abbildung 62: PM₁₀-Emissionen Offroadverkehr

Darstellung der im HERmEliN-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Offroadverkehr landwirtschaftlicher Zugmaschinen in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen in Niedersachsen

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Erläuterung |
|-------------------------|--|
| ALK | Automatisierte Liegenschaftskarte |
| ATKIS | Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem |
| BBSR | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung |
| BB | Brandenburg |
| BFG | Bundesamt für Gewässerkunde |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BlmSchG; BlmSchV | Bundes-Immissionsschutzgesetz; -Verordnung BlmSchV |
| BUBE | Betriebliche Umweltdaten-Berichterstattung |
| CORINE | Coordination of Information on the Environment; Projekt zur einheitlichen Klassifikation der Landnutzung |
| DB AG | Deutsche Bahn AG |
| DESTATIS | Statistisches Bundesamt |
| DGUV | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung |
| DTV | Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| EBA | Eisenbahn-Bundesamt |
| EEA | European Environmental Agency; Europäische Umweltagentur |
| EKatDyn | Dynamisches Emissionskataster |
| EU | Europäische Union |
| EuGH | Europäischer Gerichtshof |
| EW | Einwohner |
| FLADIS | Programmsystem zur flächenhaften Darstellung der Immissionssituation |
| Fz | Fahrzeuge |
| FZ | Fahrzeugzulassungen |
| GAA | Staatliches Gewerbeaufsichtsamt |
| GIS | Geographisches Informationssystem |
| GRETA | Gridding Emission Tool for ArcGIS; Tool zur Verteilung von Emissionen im Programmsystem ArcGIS |
| HBEFA | Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs |
| HB | Hansestadt Bremen |
| HE | Hessen |
| HH | Hansestadt Hamburg |
| KBA | Kraftfahrtbundesamt |
| Kfz | Kraftfahrzeuge |

| Abkürzung | Erläuterung |
|----------------------------|---|
| LANUV | Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen |
| LfULG | Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie |
| LGLN | Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen |
| LIV | Landesinnungsverband der Schornsteinfeger (Niedersachsen) |
| LKW | Lastkraftwagen |
| LOD | Level of Detail; Detailgrad des Gebäude-modells |
| LOS | Level of Service; Einstufung der Verkehrsqualität |
| LSN | Landesamt für Statistik Niedersachsen |
| LUBW | Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg |
| LÜN | Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen |
| MultiNet® | Straßennetzdatenbank, von Tele Atlas (heute TomTom) |
| MV | Mecklenburg-Vorpommern |
| NEC | National Emission Ceilings; EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchst-mengen |
| NHN | Normalhöhennull |
| NL | Niederlande |
| NLStBV | Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr |
| (NM-)VOC | (Non-Methane) Volatile organic compounds; flüchtige organische Kohlenstoffe ohne Methan |
| NRMM | Non-Road mobile machinery; Fahrzeuge und Maschinen mit Verbrennungsmotor außerhalb öffentlicher Straßen |
| NW | Nordrhein-Westfalen |
| PKW | Personenkraftwagen |
| PM; PM₁₀ | Particulate Matter; Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm |
| PROBAS | Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement |
| PRTR | Pollutant Release and Transfer Register; Schadstoffemissionsregister |
| RCG | Regional Eulerian Model - California Grid Model; Ausbreitungs-Rechenmodell für Immissionsberechnungen |
| SH | Schleswig-Holstein |



| Abkürzung | Erläuterung |
|----------------|---|
| ST | Sachsen-Anhalt |
| TA Luft | Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft |
| TH | Thüringen |
| TRAMPER | Tropospheric Realtime Applied Procedures for Environmental Research, Tropospharisches Echtzeit-Anwendungsverfahren für Umweltforschung (diagnostisches Analyseverfahren für meteorologische Felder) |
| TREMOD | Transport Emission Model |
| TSK | Tierseuchenkasse (Niedersachsen) |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UFP | Ultrafeine Partikel |
| UNESCO | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur |
| VDI | Verein deutscher Ingenieure |
| VOC | Volatile organic compounds, flüchtige organische Kohlenstoffe |
| WHO | World Health Organization; Weltgesundheitsorganisation |
| WMO | World Meteorological Organization; Weltmeteorologieorganisation |
| WSD | Wasser- und Schifffahrtsdirektion |
| ZUS LLG | Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe |

| Chemische Formel | Stoffname |
|------------------|--|
| C_nH_m | Kohlenwasserstoffe |
| CH_4 | Methan |
| $CO; CO_2$ | Kohlenmonoxid; Kohlendioxid |
| H_2SO_3 | schweflige Säure |
| NH_3 | Ammoniak |
| NH_4^+ | Ammonium-Ion |
| N_2O | Distickstoffmonoxid (Lachgas) |
| $NO; NO_2$ | Stickstoffmonoxid; Stickstoffdioxid |
| NO_x | stöchiometrische Summe aus NO und NO_2 (Massenangaben bezogen auf NO_2) |
| NO_3^- | Nitrat-Ion |
| $O_2; O_3$ | Sauerstoff; Ozon |
| SO_2 | Schwefeldioxid |

| Physikalische Einheit | Physikalische Größe | Bezeichnung |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| g | Masse | Gramm |
| t = Mg | Masse | Tonne (10^6 g) = Megagramm |
| W | Leistung | Watt |
| m | Länge | Meter |
| m. ü. Gr. | Höhe | Meter über Grund |
| Pa | Druck | Pascal |
| g/m^3 | Masse pro Volumen | Gramm pro Kubikmeter |
| tkm | Masse mal Entfernung | Tonnenkilometer |
| Wh | Leistung mal Zeit | Wattstunde |
| g/h | Masse pro Zeiteinheit | Gramm pro Stunde |
| $g/(m^2*s)$ | Masse pro Fläche und Zeiteinheit | Gramm pro Quadratmeter und Sekunde |
| Kfz/d | Anzahl pro Zeiteinheit | Kraftfahrzeuge pro Tag |

| Vorzeichen | Bezeichnung | Größenordnung |
|------------|-------------|---------------|
| μ | Mikro | 10^{-6} |
| m | Milli | 10^{-3} |
| h | Hekto | 10^2 |
| k | Kilo | 10^3 |
| M | Mega | 10^6 |
| G | Giga | 10^9 |

| Zeiteinheiten | Bezeichnung |
|---------------|-------------|
| s | Sekunde |
| h | Stunde |
| d | Tag |
| a | Jahr |

