



Staatliches
Gewerbeaufsichtsamt
Hildesheim



HErMEliN – Hotspot-Ermittlung und Emissionskataster lagebezogen in Niedersachsen

Teilbericht – Methodik der Emissions- ermittlung

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	5
1. Zusammenfassung	6
2. Einleitung	7
2.1 HErmEliN-Projekt	7
2.2 Ziel dieses Berichts	9
3. Gebietsbeschreibung Niedersachsen	10
4. Betrachtete Luftschadstoffe	11
4.1 Stickstoffoxide (NO _x)	11
4.2 Feinstaub (PM ₁₀ und PM _{2,5})	12
4.3 Weitere Luftschadstoffe	13
5. Emissionsermittlung nach Quellgruppen	16
5.1 Räumliche Verteilung der Emissionen im Rechengitter	16
5.2 Industrie	17
5.3 Landwirtschaft	24
5.4 Hausbrand	27
5.5 Verkehr	30
5.6 Biogene Quellen	49
5.7 Gesamtübersicht der Emissionen	50
6. Unsicherheiten	53
6.1 Quellgruppe Industrie	54
6.2 Quellgruppe Landwirtschaft	54
6.3 Quellgruppe Hausbrand	55
6.4 Quellgruppe Verkehr	55
6.5 Gesamtbewertung der Unsicherheiten	57
7. Fazit und weitere Vorgehensweise	58
8. Literatur	59
9. Anhang	62
9.1 Formeln zur Berechnung der Emissionen von BHKW von Biogasanlagen	62
9.2 GIS-basierte Identifizierung von Tierhaltungsanlagen	62
9.3 GIS-basierte Positionierung der Hausbrand-Daten	66
9.4 Straßentypen in Niedersachsen	67
Abkürzungsverzeichnis	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenz- und Zielwerte für Luftschadstoffe	11	Tabelle 19: Unsicherheiten der Quellgruppen des HErmEliN- Projektes	57
Tabelle 2: Emissionen Industrie	19	Tabelle 20: Formeln Emissionen Biogasanlagen	62
Tabelle 3: Emissionsfaktoren für Biogasanlagen	22	Tabelle 21: Straßentypen HBEFA 3.2	67
Tabelle 4: Emissionen Biogasanlagen	23	Tabelle 22: Straßentypen und Kfz-Anteile	67
Tabelle 5: Emissionen Landwirtschaft	26		
Tabelle 6: Emissionen Hausbrand	29		
Tabelle 7: Zuordnung des Straßentyps	31		
Tabelle 8: Bestimmung der Anzahl der Fahrspuren	32		
Tabelle 9: Emissionen des Straßenverkehrs	33		
Tabelle 10: Emissionen des Schienenverkehrs	36		
Tabelle 11: Emissionsfaktoren Schifffahrt	40		
Tabelle 12: Emissionen Schifffahrt	41		
Tabelle 13: Leistungsklassen und Durchschnittsalter landwirtschaftlicher Zugmaschinen	44		
Tabelle 14: Emissionsfaktoren Offroadverkehr	45		
Tabelle 15: Faktoren Bearbeitungsaufwand / Kraftstoffverbrauch nach Feldblocktypen	45		
Tabelle 16: Emissionen Offroadverkehr	46		
Tabelle 17: Gesamtemissionen HErmEliN-Projekt	50		
Tabelle 18: Gütestufen und typischer Unsicherheitsbereiche	53		



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des Gesamtverfahrens	8	Abbildung 20: Transportierte Gütermengen Schiffsverkehr	39
Abbildung 2: Landkreise und kreisfreie Städte in Niedersachsen	10	Abbildung 21: NO _x -Emissionen Schifffahrt	42
Abbildung 3: Gitterstruktur des Ausbreitungsmodells	17	Abbildung 22: PM ₁₀ -Emissionen Schifffahrt	43
Abbildung 4: Schema Industrie	18	Abbildung 23: Schema Offroadverkehr	44
Abbildung 5: Emissionsquellen der Industrie	20	Abbildung 24: NO _x -Emissionen Offroadverkehr	47
Abbildung 6: Schema Biogasanlagen	21	Abbildung 25: PM ₁₀ -Emissionen Offroadverkehr	48
Abbildung 7: Schema Tierhaltungen	24	Abbildung 26: Anteile der Quellgruppen an NO _x -Emissionen	51
Abbildung 8: PM ₁₀ -Emissionen Landwirtschaft	25	Abbildung 27: Gesamt-NO _x -Emission	51
Abbildung 9: Schema Hausbrand	27	Abbildung 28: Anteile der Quellgruppen an PM ₁₀ -Emissionen	52
Abbildung 10: NO _x -Emissionen Hausbrand	28	Abbildung 29: Gesamt-PM ₁₀ -Emissionen	52
Abbildung 11: PM ₁₀ -Emissionen Hausbrand	30	Abbildung 30: Beispiel Identifizierung Geflügelhaltung	63
Abbildung 12: Schema Straßenverkehr	30	Abbildung 31: Übersicht Rinderställe	64
Abbildung 13: Straßennetz in Niedersachsen	33	Abbildung 32: Vorliegende Daten für Geflügelmastanlagen	65
Abbildung 14: NO _x -Emissionen Straßenverkehr	34	Abbildung 33: Beispiel Feuerstätten und Zuordnung zu Gebäudedaten	66
Abbildung 15: PM ₁₀ -Emissionen Straßenverkehr	35	Abbildung 34: Verteilung der Straßentypen	68
Abbildung 16: Schema Schienenverkehr	36		
Abbildung 17: NO _x -Emissionen Schienenverkehr	37		
Abbildung 18: PM ₁₀ -Emissionen Schienenverkehr	38		
Abbildung 19: Schema Schienenverkehr	39		

1. Zusammenfassung

Dieser Bericht stellt einen Teilbericht zum Projekt HErmEliN dar, das im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz von der Zentralen Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe im Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim durchgeführt wurde. Ein Ziel des in den Jahren 2013 bis 2017 bearbeiteten Projektes ist die Ermittlung eines lagebezogenen Emissionskatasters für Luftschadstoffe in Niedersachsen. Der vorliegende Bericht fasst die Vorgehensweise zur Erstellung dieser räumlichen Emissionsdatenbasis zusammen.

Das Hauptaugenmerk des HErmEliN-Projektes liegt in erster Linie auf den Luftschadstoffen Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (PM₁₀). Während es bei diesen beiden Stoffen auch in Niedersachsen in der nahen Vergangenheit zu Überschreitungen von Grenzwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit der 39. BImSchV kam, traten bei dem Großteil der weiteren in dieser Verordnung mit Grenzwerten reglementierten Luftschadstoffe zumeist keine Probleme bezüglich der Einhaltung dieser Grenzwerte auf. Lediglich für den Zielwert für Ozon (O₃) wurden teilweise Überschreitungen gemessen, weshalb auch dieser sekundäre Luftschadstoff Teil der immisionsseitigen Betrachtung ist.

Da direkte Messungen an der Emissionsquelle nur für einzelne Quellen bzw. Quellgruppen (bestimmte Industriequellen) erfolgen, wird für die hier erstellte Emissionsdatenbasis die mittlere Emission einer Quelle anhand von zur Verfügung stehenden Parametern (Aktivitätsrate und Emissionsfaktor) bestimmt. Die Aktivitätsrate ist zumeist eine schwer bestimmbare Größe, die mithin aufgrund von Annahmen abgeschätzt oder hergeleitet werden muss. Der Emissionsfaktor bezieht sich auf die bei einer Aktivität in die Atmosphäre emittierte Masse eines Schadstoffes und basiert zumeist auf Messungen und Erfahrungswerten, die zu durchschnittlichen Werten aggregiert werden.

Das landesweite Emissionskataster wird lagebezogen und nach dem bottom-up-Prinzip erstellt. Für die unterschiedlichen Quellgruppen gibt es jeweils andere Herangehensweisen zur Ermittlung der Lage und der Stärke der Emissionen. 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) jeweils auf Jahresbasis abgeschätzt. Wenn Emissionsfaktoren vorlagen, wurden auch sonstige von einer Quelle emittierte Stoffe (z. B. SO₂, NH₃, u. a.) in ihrer emittierten Masse ermittelt.

Für die Industrie kann auf den BUBE-Datensatz zurückgegriffen werden. Für die Landwirtschaft können die Bestandsdaten von einigen Landkreisen und der Tierseuchenkasse Niedersachsen (TSK) verwendet werden. Ein neu entwickeltes Verfahren, mit dem Stallanlagen aufgrund spezifischer Gebäudegeometrien mit einer ausreichenden Genauigkeit identifiziert werden können, bildet die Grundlage für die Verteilung der Emissionen der Landwirtschaft auf diese Stallanlagen nach einem landkreisspezifischen Schlüssel.

Für den Hausbrand stehen gebäudegenaue Daten des Landesinnungsverbands der Schornsteinfeger (LIV) zur Verfügung, die anhand von spezifischen Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Brennstoffe verwendet werden können. Für den Straßenverkehr werden die Emissionen für das gesamte Straßennetz in Niedersachsen berechnet. Zur Erfassung der Emissionen der Nebenstraßen ohne bekannte Verkehrsdaten kommt im Vorfeld ein dynamisches Emissionskataster (EKatDyn) zum Einsatz. Für den Schienenverkehr wird auf Daten der Deutsche Bahn AG (DB AG) zurückgegriffen. Für die Schifffahrt liegen Daten zu den Massen der transportierten Güter vor, die mithilfe von spezifischen Emissionsfaktoren auf das Wasserstraßennetz in Niedersachsen übertragen werden. Die Emissionen des Offroadverkehrs werden an den landkreisspezifischen Zulassungszahlen von landwirtschaftlichen Zugmaschinen orientiert und anhand von Felddaten zur Landnutzung verteilt.

Aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweisen und den unterschiedlichen Ausgangsdaten für die Ermittlung der Emissionen ergeben sich auch große Unterschiede in den Unsicherheiten der ermittelten Daten. Hierbei beziehen sich die Unsicherheiten zum einen auf die Quantität der Emissionen und zum anderen auf die Lage der Quellen. Während bei den Quellen der Industrie und des Hausbrands Emissionsmengen und Positionen sehr gut bestimmt werden können, fehlen Emissionsquellen beispielsweise beim Offroadverkehr (z. B. Forstwirtschaft und andere mobile Maschinen) und in der Quellgruppe Landwirtschaft (Wirtschaftsdüngerausbringung). Auch die Verortung der ermittelten Emissionen wird beim Offroadverkehr, aber auch bei den Quellen der Landwirtschaft (Tierhaltungen), nur durch Abschätzungen gestützt. Ferner besteht auch für die restlichen Quellen noch die Möglichkeit der Verbesserung sowohl bezüglich der Emissionsmenge als auch der Position der Quellen.

Für Niedersachsen werden für das Bezugsjahr 2011 Emissionen von insgesamt rund 122 kt/a NO_x und rund 30 kt/a PM₁₀ ermittelt. Hierzu tragen bei den Stickoxiden vornehmlich die Emissionen des Straßenverkehrs (~50 %) und der Industrie (~27 %) bei. Beim Feinstaub dominieren in erster Linie die Emissionen der Landwirtschaft (~56 %), des Straßenverkehrs (~18 %) und der Industrie (~13 %).

Mit dem HErmEliN-Projekt wurden die ersten Schritte unternommen um zukünftig auf einer sicheren Basis die Emissionen von Luftschadstoffen aus verschiedenen Quellen ermitteln zu können. Mit Hilfe kontinuierlicher Verbesserungen der Eingangsdaten und Methoden kann das Emissionskataster für Niedersachsen ein robustes Werkzeug zur Unterstützung der Luftqualitätsbeurteilung darstellen. Es bildet darüber hinaus die Basis für die weiteren Schritte des HErmEliN-Projektes zur Ermittlung von Hotspots der Luftschadstoffbelastung in Niedersachsen.



2. Einleitung

Eine gute Luftqualität stellt einen wesentlichen Faktor für gesunde Lebensverhältnisse für den Menschen und seine Umwelt dar. Eine Beurteilung der Luftqualität lässt sich am besten an der Konzentration von Luftschadstoffen festmachen. Die Erfassung und Überwachung dieser Konzentrations-Messwerte ist in Deutschland die Aufgabe der Bundesländer. Dies geschieht in erster Linie durch den Betrieb ländereigener Messnetze. Die räumliche Verteilung der Messstationen im Landesgebiet und die zeitliche Auflösung der Messungen sind in der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV [1]) einheitlich festgelegt. Ebenso sind dort die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt für bestimmte Luftschadstoffe fixiert. 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, müssen durch die zuständige Behörde Luftreinhaltepläne mit Maßnahmen zur Reduktion der Luftschadstoffbelastung erstellt werden.

Mehrere Urteile deutscher Verwaltungsgerichte (z. B. VG 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 jedes einzelnen Bürgers auf gesunde Lebensverhältnisse wird hiermit weiter bekräftigt. In Niedersachsen sind die Städte und Gemeinden für die Aufstellung und Umsetzung von Luftreinhalteplänen nach den Vorgaben des BImSchG zuständig. Diese Pläne müssen geeignete Maßnahmen umfassen, um den Zeitraum der Nichteinhaltung von Grenzwerten so kurz wie möglich zu halten.

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 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 Projekt HErmELiN liefert hierbei für das Land Niedersachsen einen entscheidenden Beitrag, indem es u. a. die Ermittlung eines lagebezogenen Emissionskatasters für Luftschadstoffe zum Ziel hat.

2.1 HErmELiN-Projekt

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 der 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. 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 Dritter zurückgegriffen werden. Alle Emissionsdaten werden für eine Ausbreitungsberechnung in einem Berechnungsmodell (Chemie-Transport-Modell) verwendet.

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 Hotspots 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 Karte zur Hintergrundbelastung durch Immissionen von Luftschadstoffen. Die räumliche Auflösung richtet sich dabei nach dem Rechengitter des Modells, das für das HERmEliN-Projekt das gesamte Landesgebiet Niedersachsens mit Rastern 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 an den Messstationen der Luftqualitätsüberwachung Niedersachsens (LÜN) real gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen des Bezugsjahres 2011 durchlaufen. Die Kombination dieser beiden Eingangsgrößen zur Immissionskarte erfolgt auf der Grundlage mathematischer Interpolationsverfahren.

Die Daten zur Topographie, der hochaufgelösten Gebäudestruktur und des Straßennetzes in Niedersachsen werden eingesetzt um sogenannte geometrisch-potenzielle Hotspots zu ermitteln. Hierbei handelt es sich dann um, im Sinne der Luftreinhaltung ungünstige, geometrische Situationen wie beispielsweise Straßenschluchten quer zur Hauptwindrichtung o.ä.

Mit Hilfe 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 kleinskaligen Modellrechnungen die potentiellen Belastungsschwerpunkte der Luftschadstoffbelastung in Niedersachsen identifiziert.

Eine Übersicht des gesamten Ablaufs des Projektes HERmEliN ist in Abbildung 1 dargestellt. 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.

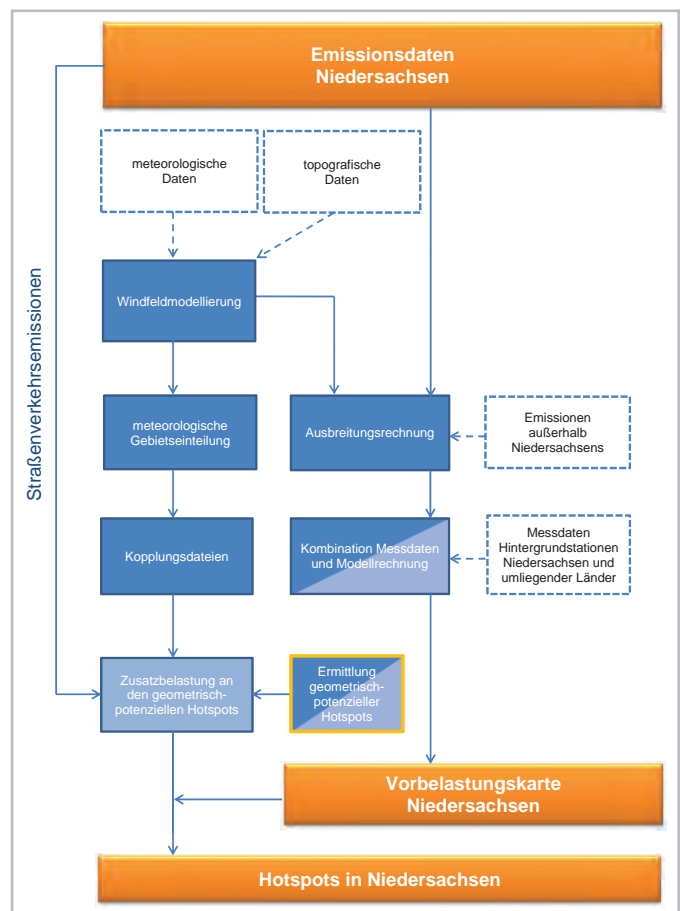


Abbildung 1: Schema des Gesamtverfahrens
 Teilschritte des HERmEliN-Projektes; Bearbeitung durch ZUS LLG (hellblau), Bearbeitung durch Dritte (blau), Eingangsdaten Dritter (gestrichelte Kästen), Ergebnisse des HERmEliN-Projektes (orange)



2.2 Ziel dieses Berichts

Dieser Bericht stellt einen Teilbericht zum Projekt HErmEliN dar. Es werden die Methoden beschrieben, mit denen die Emissionen von Luftschadstoffen in Niedersachsen im Rahmen des HErmEliN-Projektes erfasst wurden. Dies gilt sowohl für die räumliche Zuordnung der Quellen als auch für die Zuordnung der emittierten Massen von Schadstoffen zu den Quellen.

Die Emission ist definiert als das Austreten von Schadstoffen aus Quellen [4], unabhängig davon ob es sich um anthropogene oder biogene Quellen handelt. Für das HErmEliN-Projekt werden die anthropogen verursachten Emissionen nach unterschiedlichen Quellgruppen untersucht. Dabei wird für alle definierten Quellgruppen versucht, die Emissionsermittlung nach einem bottom-up-Ansatz durchzuführen. Das heißt, dass die Emissionen von (möglichst) allen Quellen ermittelt werden und erst für die Ausbreitungsrechnung auf dem Rechengitter aufaggregiert werden. Für ein solches bottom-up-Register müssen daher Quellen auch geographisch verortbar sein. Dies wurde realisiert, indem für die Gruppe der anthropogenen Emissionen aus

- Industrie,
- Landwirtschaft (Tierhaltung),
- Hausbrand und
- Verkehr (Straße, Schiene, Schifffahrt, Offroad)

Methoden zur Lokalisierung der Quellen und zur Quantifizierung der Emissionsmengen entwickelt und angewendet wurden. Ferner wurde auf bestehende Methoden von Emissionskatastern anderer Bundesländer zurückgegriffen. Für alle Methoden der Emissionsermittlung wird eine Unsicherheitsbetrachtung in Anlehnung an die Vorgaben der europäischen Umweltagentur (EEA) durchgeführt. Dies ermöglicht eine Einschätzung der Datenqualität (räumlich und bezogen auf die Emissionsmenge) der Emissionen der einzelnen Quellgruppen.

Für die Quellgruppe der biogenen Emissionen (nicht anthropogenen Ursprungs, z. B. Pflanzenpollen, Seesalz, u. a.) wird wegen der fehlenden Datengrundlage für eine detailliertere Betrachtung auf vorhandene Daten des genutzten Ausbreitungsmodells zurückgegriffen.

Auf Grundlage der ermittelten Emissionen finden alle weiteren Berechnungen der Immissionen für das HErmEliN-Projekt statt.

Eine Plausibilisierung der ermittelten Emissionsdaten anhand von Vergleichsdaten aus anderen Bundesländern und auch Daten für die gesamte Bundesrepublik ist aufgrund unterschiedlicher Methoden zur Emissionsermittlung nicht einheitlich möglich. Details zur Höhe der ermittelten Emissionen im bundesweiten Vergleich sind im Gesamtbericht des HErmEliN-Projektes [5] zu finden.

3. 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 hat Niedersachsen eine gemeinsame Grenze mit den Niederlanden (NL). Nördlich vor der Nordseeküste im Nationalpark Wattenmeer liegen die sieben ostfriesischen Inseln (Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog und

Wangerooge), 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. Die Einwohnerdichte von 164 Einwohnern/km² liegt in Niedersachsen unter dem bundesweiten Durchschnitt von 227 EW/km². Das Land ist administrativ aufgeteilt in 38 Landkreise (Stand 01/2016, inklusive der Region Hannover (mit der Landeshauptstadt Hannover, LHH) und acht kreisfreie Städte (Braunschweig, Delmenhorst, Emden, Oldenburg, Osnabrück, Salzgitter, Wilhelmshaven und Wolfsburg; Abbildung 2).

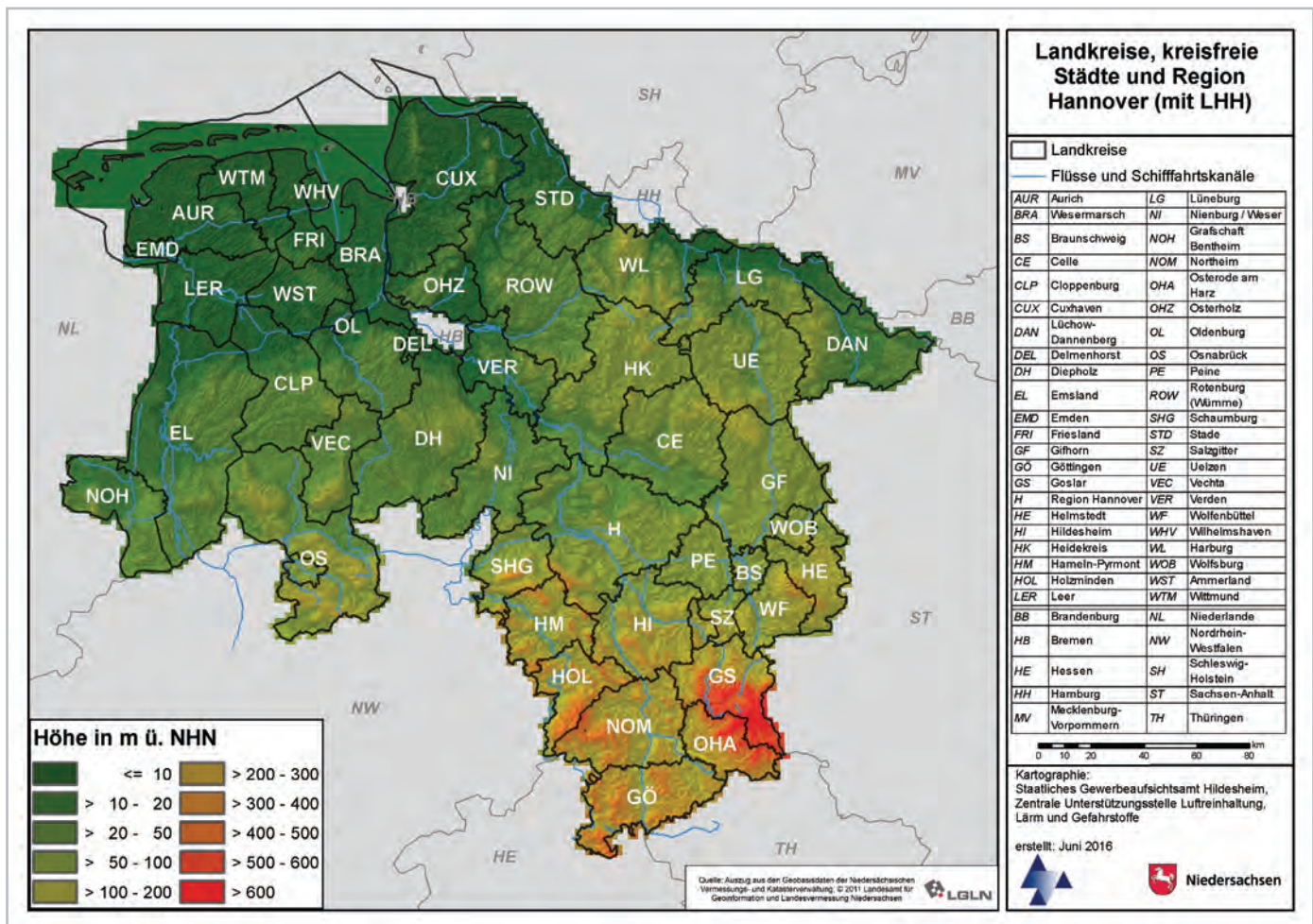


Abbildung 2: Landkreise und kreisfreie Städte in Niedersachsen
Darstellung der 38 Landkreise (inklusive der Region Hannover mit der Landeshauptstadt Hannover (LHH)) und acht kreisfreien Städte in Niedersachsen (Stand: 01.01.2016) sowie der Orographie



4. Betrachtete Luftschadstoffe

Ein Schadstoff ist definitionsgemäß jeder in der Luft vorhandene Stoff, der schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt insgesamt haben kann [6]. 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 auf ein Minimum zu reduzieren, existieren in Deutschland entsprechende Regelungen zur Emission von Luftschadstoffen (z. B. 13. BImSchV [7] oder Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft [8])). Diese richten sich in erster Linie an industrielle und gewerbliche Quellen. Aber auch der Fahrzeugverkehr (Schiene, Straße, Luftverkehr) ist Regelungen zu maximalen Emissionsmengen von Luftschadstoffen unterworfen, die heutzutage zumeist Vorgaben der Europäischen Union entstammen und mithin in der gesamten Union Gültigkeit haben.

Die Immission eines Schadstoffes steht am Ende des Prozesses der Emission und dem Transport dieser emittierten Stoffe mit der Luftströmung (Transmission). 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 die 39. BImSchV [1] bundeseinheitliche Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht nur für die emittierten Luftschadstoffe gesetzt. Auch sekundär während der Transmission gebildete Stoffe (z. B. Ozon) sind berücksichtigt (Tabelle 1).

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. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert für Feinstaub der Größenklassen PM₁₀ und PM_{2,5} zudem weitere Richtwerte. Diese sogenannten Luftgüte-Richtwerte (Air Quality Guidelines) liegen für PM₁₀ bei 20 µg/m³ und für PM_{2,5} bei 10 µg/m³, jeweils für den Jahresmittelwert [9]. Hierbei handelt es sich nicht um bindende Werte sondern um generelle Empfehlungen. Eine Reduzierung der Gesamtbelastung durch Feinstaub auf diese Werte kann laut WHO zu einer zusätzlichen deutlichen Verminderung der gesundheitlichen Folgen führen. Für Stickstoffdioxid (NO₂) liegt der Luftgüte-Richtwert der WHO bei 40 µg/m³ für den Jahresmittelwert und ist damit identisch zu den Vorgaben der 39. BImSchV.

4.1 Stickstoffoxide (NO_x)

Als Stickstoffoxide oder kurz Stickoxide (NO_x), wird 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 NO_x sind daher anthropogene Verbrennungsprozesse zu nennen, wie sie in Anlagen zur Energieerzeugung, in anderen industriellen Prozessen oder auch in Verbrennungsmotoren des Verkehrs ablaufen. Biogene Quellen sind z. B. mikrobiologische Prozesse im Boden oder Blitze.

Tabelle 1: Grenzwerte und Zielwerte für Luftschadstoffe

Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit der 39. BImSchV für die Immissionen der luftgetragenen Schadstoffe NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, C₆H₆, CO und SO₂ sowie Zielwert für O₃

Schadstoff	Schutzgut	Kategorie	Wert	Zulässige Überschreitungen	Mittelungszeitraum	einzuhalten ab ^{*2}
Stickstoffdioxid (NO ₂)	Mensch	Grenzwert	200 µg/m ³	18 pro Jahr	1 Stunde	2010
			40 µg/m ³	-	1 Jahr	2010
Feinstaub PM ₁₀	Mensch	Grenzwert	50 µg/m ³	35 pro Jahr	24 Stunden	2005
			40 µg/m ³	-	1 Jahr	2005
Feinstaub PM _{2,5}	Mensch	Grenzwert	25 µg/m ³	-	1 Jahr	2015
Benzol (C ₆ H ₆)	Mensch	Grenzwert	5 µg/m ³	-	1 Jahr	2005
Kohlenmonoxid (CO)	Mensch	Grenzwert	10 mg/m ³	-	8 Stunden ^{*1}	2005
Schwefeldioxid (SO ₂)	Mensch	Grenzwert	350 µg/m ³	24 pro Jahr	1 Stunde	2005
			125 µg/m ³	3 pro Jahr	24 Stunden	2005
Ozon (O ₃)	Mensch	Zielwert	120 µg/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

In den meisten Fällen kommt es zur Emission von NO, welches dann mit dem Luftsauerstoff schnell zu NO₂ aufoxidiert wird. Allerdings kommt es vor allem bei den Emissionen des Straßenverkehrs (Dieselfahrzeuge) auch vermehrt zur direkten Emission von NO₂. Das NO₂ wird in der Atmosphäre langsam weiter zum Nitrat-Ion (NO₃⁻) aufoxidiert. 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. NO₂ hat nur eine geringe Wasserlöslichkeit und kann so bis tief in die Lungen transportiert werden. 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 [10].

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 1).

4.2 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 sowie 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 = 10⁻⁶ m). „PM“ ist hierbei die Abkürzung für „particulate matter“; der Zusatz 10 bezieht sich vereinfacht gesagt auf den Partikeldurchmesser. Diese Partikel 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. [11]) 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 [9].

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden, wie auch bei NO₂, ein Kurzzeit- und ein Langzeitgrenzwert für PM₁₀ als maximale Immissionskonzentration in der 39. BImSchV festgelegt. Der Kurzzeitgrenzwert bezieht sich hierbei aber auf den Tagesmittelwert, der nicht öfter als 35-mal in einem Kalenderjahr über 50 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 2005 (Tabelle 1).

Partikel der Größenklasse zwischen PM_{2,5} und PM₁₀ 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 mit Grenzwerten stattfinden kann. Kleinere Größenklassen (PM_{10} , UFP) treten hingegen in einer wesentlich höheren Partikelanzahl auf. Auch für die Partikelanzahl existieren Untersuchungen zur gesundheitlichen Relevanz. Allerdings lässt sich bislang kein Schwellenwert identifizieren, ab dem eine gesundheitliche Gefährdung definitiv auftritt oder ausgeschlossen werden kann. Es existiert somit bisher auch keine ableitbare Metrik zur Begrenzung der Partikelanzahl.

4.3 Weitere Luftschadstoffe

Derzeit sind es vor allem Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) die deutschlandweit für Überschreitungen der Grenzwerte der 39. BImSchV sorgen. Es sind jedoch auch weitere Stoffe mit Grenzwerten belegt (Tabelle 1) und auch weitere Stoffe an der Bildung von sekundären Luftschadstoffen beteiligt. Neben den bereits beschriebenen beiden Luftschadstoffen werden daher noch zusätzliche Stoffe bei der Ermittlung der Emissionen in Niedersachsen vorrangig berücksichtigt.

4.3.1 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 NH_3 zu direkten Schäden an der Vegetation führen. Weitere Quellen sind der Straßenverkehr, Industrieprozesse, die Abfallwirtschaft, natürliche Prozesse wie die Zersetzung von stickstoffhaltigem organischem Material und andere Verbrennungsprozesse. NH_3 wird über natürlichen Flächen sowohl deponiert als auch emittiert. Insbesondere aus gedüngtem Ackerland oder Viehweiden kann es zu Ammoniakemissionen kommen. Über Wäldern überwiegt dagegen zumeist die Deposition [12].

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 [13].

Die Immissionskonzentration von NH_3 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 sollen die Emissionen von NH_3 durch die europäische NEC-Richtlinie (2001/81/EG [14]), die die nationalen Höchstmengen für Emissionen verschiedener Stoffe beschreibt, verringert werden.

4.3.2 Kohlenwasserstoffe (C_nH_m; HC; NMHC)

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 Gruppe der Kohlenwasserstoffe wird häufig noch zusätzlich unterteilt in Methan und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC).

Die flüchtigen organischen Kohlenstoffe (volatile organic compounds = VOC) stellen eine sehr große Gruppe innerhalb dieser Kohlenwasserstoffe (z. B. Alkane und Alkene, Alkohole, Ester, Ether, Ketone). Sie weisen unter Normbedingungen (0° C Temperatur und 1.013 hPa Luftdruck) einen hohen Dampfdruck ($\geq 0,01$ kPa) und eine entsprechende Flüchtigkeit auf (31. BImSchV; Lösemittelverordnung [15]). Zumeist findet auch hier noch eine Unterscheidung in Methan und den Rest der flüchtigen organischen Verbindungen (Nicht-Methan VOC, NMVOC) statt.

Aufgrund ihrer Eigenschaften sind die VOC 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 in Verbrennungsmotoren des Verkehrs und auch Emissionen der Landwirtschaft. Auch biogene Quellen emittieren Kohlenwasserstoffe. Eine Gruppe der VOC sind die Terpene (z. B. Isopren). Viele der emittierten Terpene stammen aus biogenen Quellen wie z. B. Nadeln und Blätter zahlreicher Baumarten (Abschnitt 5.6). VOC sind ein wichtiger Vorläuferstoff für das troposphärische Ozon [12].

Der einzige zum Schutz der menschlichen Gesundheit reglementierte Kohlenwasserstoff ist das Benzol (C₆H₆). Dessen krebserregende Wirkung auf den Menschen ist nachgewiesen [10]. Daher nennt die 39. BImSchV einen maximalen Jahresmittelwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 5 µg/m³ (Tabelle 1) für Benzol. Zudem ist die zulässige Emission von VOC durch industrielle Tätigkeiten in der 31. BImSchV geregelt.

4.3.3 Kohlenstoffmonoxid (CO)

Kohlenstoffmonoxid (CO) entsteht im Wesentlichen durch unvollständige Verbrennungsprozesse in Verbrennungsmotoren, 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 andere VOC gebildet werden.

CO ist ein geschmackloses, geruchloses, farbloses und nicht korrosiv wirkendes Gas. Es wird nach Aufnahme ins Blut an Hämoglobin gebunden, wodurch dessen Fähigkeit, Sauerstoff zu binden und zu transportieren, eingeschränkt bzw. unterbunden wird. Hieraus können Gewebeschäden infolge einer lokalen Sauerstoff-Unterversorgung resultieren [10].

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 1).

4.3.4 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 spielt das Ozon mithin 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 (VOC), Kohlenmonoxid (CO) und die Stickoxide (NO_x). 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 [10].

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; Tabelle 1) ist durch die beschriebene toxische Wirkung des Ozons zudem eine Information bzw. Warnung der Bevölkerung durch die kontrollierende Stelle vorzunehmen.

4.3.5 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 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 Schwefeliger Säure, die besonders an den Schleimhäuten schnell erfolgt, zurückgeführt werden. Daher kann die Reizwirkung auch an den Augenschleimhäuten einsetzen [10].

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 seit dem 1. Januar 2005 europaweit 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. Darüber hinaus wurden zum Schutz der Vegetation kritische Werte als Jahres- und als Wintermittelwert (Oktober bis März) von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt.

5. Emissionsermittlung nach Quellgruppen

Die genaueste Methode der Emissionsermittlung ist die direkte Messung an der Quelle. Diese Methode ist für einzelne Quellen bzw. Quellgruppen (bestimmte Industriequellen) möglich. Für die überwiegende Mehrzahl der Quellgruppen kann jedoch nicht auf kontinuierliche Messungen an allen Quellen zurückgegriffen werden. Daher wird für die Bestimmung der Emission eines Schadstoffes nach Formel (1) vorgegangen.

$$\text{Emission}_{\text{Stoff, Jahr}} = \sum_{\text{Aktivitäten}} \text{Aktivitätsrate} * \text{Emissionsfaktor}_{\text{Aktivität, Stoff}} \quad (1)$$

Eine Aktivität kann z. B. die Gesamtfahrleistung einer Fahrzeugflotte sein (in km pro Jahr) oder der Betrieb eines Blockheizkraftwerks (BHKW; Gasverbrauch pro Jahr) zur Stromerzeugung auf einer Biogasanlage. Die Aktivitätsrate ist zumeist eine schwer bestimmbare Größe, die mithin aufgrund von Annahmen abgeschätzt oder hergeleitet werden muss.

Der Emissionsfaktor bezieht sich auf die bei einer Aktivität in die Atmosphäre emittierte Masse eines Schadstoffes. Der Emissionsfaktor basiert zumeist auf einer Vielzahl von Messungen und Erfahrungswerten, die zu durchschnittlichen Werten aggregiert werden. Zumeist werden diese Werte im regulären Betrieb einer Anlage / Quelle ermittelt, so dass die tatsächlichen Emissionen hiervon zum Teil stark abweichen können. Es ergibt sich somit auch in den Emissionsfaktoren eine Unsicherheit, die sich bei der Ermittlung der Emissionen fortsetzt. Eine ausführlichere Betrachtung der Unsicherheit der Aktivitätsrate und der Unsicherheit des Emissionsfaktors wird in Abschnitt 6 vorgenommen.

Im HErmEliN-Projekt wird die Ermittlung der Emissionen auf den Zeitraum eines gesamten Jahres beschränkt. Mögliche Jahresgänge der Emissionen, wie sie sich beispielsweise beim Hausbrand mit hohen Emissionen im Winter und deutlich niedrigeren Emissionen im Sommer ergeben, werden bei der Ermittlung der Emissionen in der Regel nicht berücksichtigt. Da das Rechenmodell die Berechnungen auf einer stündlichen Basis durchführt, werden für die spätere Immissionsberechnung die als Jahressumme angegebenen Emissionen allerdings vom Ausbreitungsmodell auf einen für die Quellgruppe typischen Jahres- und Tagesgang verteilt. Näheres zu diesen Aufteilungen innerhalb des Rechenmodells ist u. a. in Stern [16] zu finden.

Ein weiteres Ziel des HErmEliN-Projektes ist, neben der emittierten Menge der Luftschadstoffe auch die möglichst genaue räumliche Erfassung der Emissionen. Generell wird versucht auf der Basis eines bottom-up-Ansatzes die Emissionsquellen zu ermitteln. Das heißt, dass die Einzelquellen zusammen mit ihren Emissionsmengen erfasst werden sollen. Dies ist in den verschiedenen Quellgruppen unterschiedlich gut möglich und mithin eine Quelle für Unsicherheiten. Nichtsdestotrotz bietet dieser Ansatz u. a. die Möglichkeit die lokalen Anteile und Auswirkungen von Emissionen bestimmter Quellgruppen in einem Gebiet besser abzubilden.

5.1 Räumliche Verteilung der Emissionen im Rechengitter

Das genutzte Ausbreitungsmodell (Chemie-Transport-Modell) wird in einem geographischen Raster betrieben, das einem dreidimensionalen Rechengitter entspricht. Die, nach den im Folgenden beschriebenen Methoden, ermittelten Emissionen müssen somit in die vom Rechenmodell vorgegebene Gitterstruktur eingepasst werden. Dies gilt sowohl für die horizontale Ausdehnung bodennaher Quellen als auch für die vertikale Verteilung der Emissionen in der entsprechenden effektiven Quellhöhe.

Die für das gesamte Land Niedersachsen verwendete horizontale Auflösung des Rechengitters liegt bei etwa 2 km * 2 km. Für den südlichen Bereich des Landes, der durch die Orographie deutlich anders gegliedert ist als der Rest des Landes, wurde eine feinere horizontale Gitterstruktur gewählt. Sie liegt bei 0,5 km * 0,5 km. So können die orographischen Einflüsse auf die Ausbreitungsbedingungen wesentlich besser und realitätsnäher abgebildet werden. Für die restlichen Bereiche Niedersachsens ist das gröbere Gitter ausreichend.

Eine Übersicht über die Gitterstruktur ist in Abbildung 3 dargestellt. Nicht zu sehen sind hierbei die vorgeschalteten Rechengitter, die die europäische und mitteleuropäische Skala abdecken. Die Emissionen für diese Rechengitter werden nicht im HErmEliN-Projekt ermittelt sondern vom Rechenmodell übernommen. Diese Rechengitter bilden die Ausgangs- und Randbedingungen für das hier erstellte feinere Rechengitter. Details zu dieser Gitterschachtelung sind u. a. in [16] und [17] zu finden.

Die ermittelten Emissionen werden für jede Rasterzelle und jede Höschicht des Rechenmodells aufsummiert. Für die Emissionen der Punktquellen der Industrie wird deren effektive Quellhöhe verwendet. Die Emissionen aller anderen Quellgruppen werden in die bodennächste Schicht des Modells übertragen, die sich vom Boden bis in eine Höhe von 25 m ü. Gr. erstreckt.

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 [16]. Die im Folgenden gezeigten Darstellungen der für Niedersachsen nach den beschriebenen Methoden ermittelten Emissionen zeigen jeweils die auf das Raster übertragenen jährlichen Emissionsmengen.

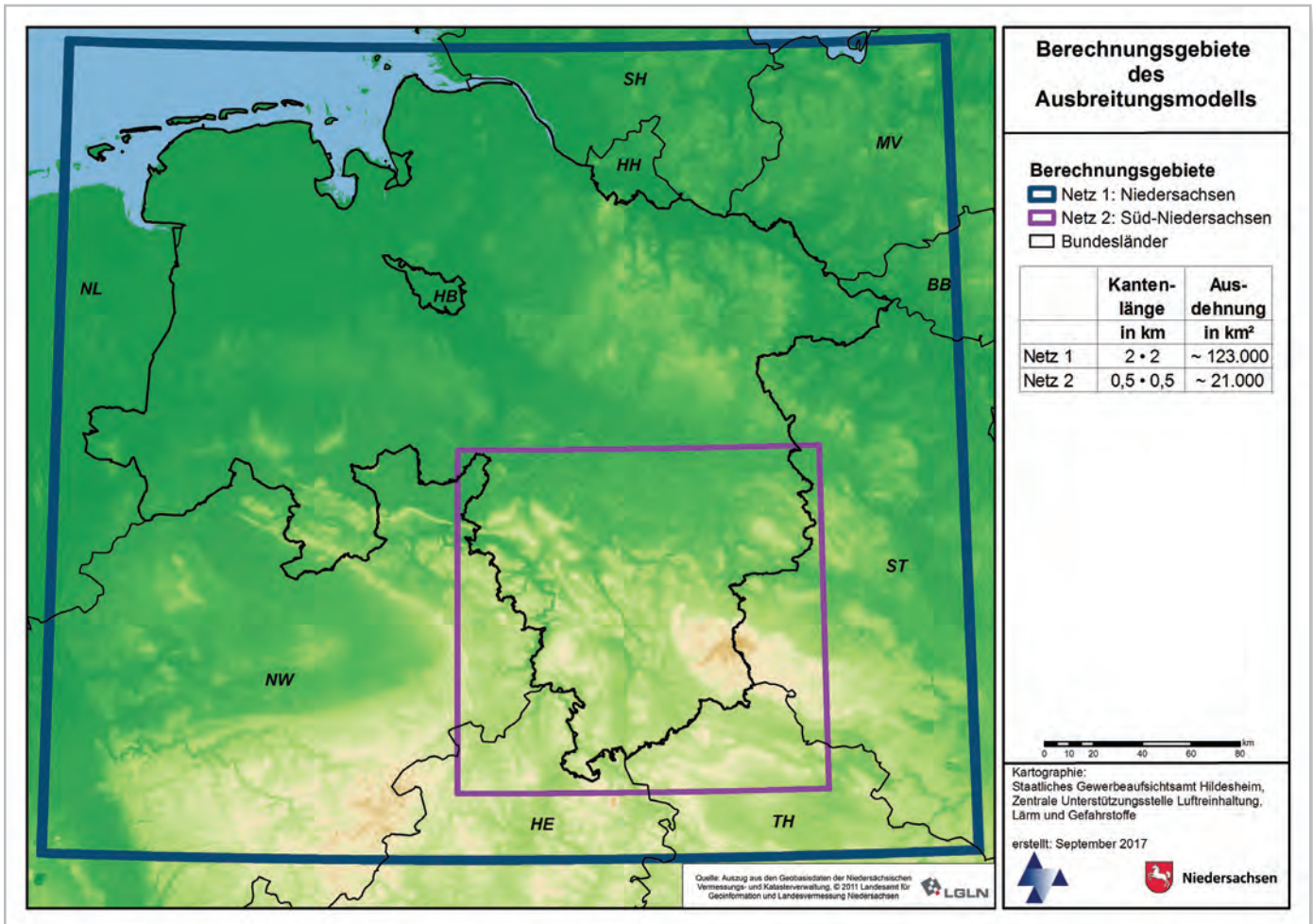


Abbildung 3: Gitterstruktur des Ausbreitungsmodells

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

5.2 Industrie

Eine wichtige Quellgruppe stellen die Emissionen aus der Industrie dar. Industriebetriebe tragen durch die Emission von gas- und partikelförmigen Luftschadstoffen zur Luftschadstoffbelastung bei. Die Zusammensetzung der Emissionen ist abhängig von den jeweils ablaufenden Prozessen innerhalb der Betriebe und Anlagen. Der Beitrag eines Industriebetriebes zur lokalen Luftschadstoffbelastung kann ebenfalls sehr stark variieren. Emissionen können diffus z. B. aus bodennahen Quellen oder über geführte Quellen (z. B. Schornsteine) freigesetzt werden. Je größer die Quellhöhe desto geringer ist der Anteil an der lokalen Immissionsbelastung.

Die Erfassung der Emissionen von geführten Quellen erfolgt teilweise durch die Anlagenbetreiber. Sie können aber auch berechnet oder zum Teil auch sicher abgeschätzt werden.

Die Emissionen sind dabei abhängig von der Produktionsleistung der Betriebe. Diese kann inter- und intraannuellen Schwankungen unterliegen. Die Emissionen diffuser Quellen der Industrie (Deponien, Halden, Lagerplätze) sind zusätzlich schwerer zu erfassen, da für ihre Emissionen, neben der Abhängigkeit von der Produktionsleistung eines Betriebs, auch die meteorologischen Bedingungen eine große Rolle spielen. Sie unterliegen somit einer deutlich größeren Unsicherheit.

5.2.1 Emissionen von Industrieanlagen

Für den Bereich Industrie stehen aktuelle Daten für NO_x, PM₁₀ und NH₃ aus den Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV [18] für das Bezugsjahr 2012 zur Verfügung. Die Emissionen sind differenziert nach Landkreisen in Tabelle 2 aufgeführt. Die Datenbasis waren die mittels der bundeseinheitlichen Software BUBE-Online erfassten Da-

ten. 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. Für die Berechnungen stehen den Betreibern teilweise anlagenspezifische Emissionsfaktoren (schadstoffbezogene Emissionsfaktoren für verschiedene Einsatzstoffe und Prozesse) zur Verfügung, die in der Software BUBE-Online hinterlegt sind. Die Schätzungen erfolgen größtenteils anhand von Vergleichswerten gleichartiger Anlagen.

Die Punktquellen werden entsprechend der im Kataster genannten Position und Quellhöhe in das Berechnungsmodell übernommen (Abbildung 4). Fehlende oder nicht plausible Daten werden durch quellspezifische Standardwerte ersetzt.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit aus dem BUBE-Datensatz heraus Flächenquellen zu identifizieren. Diese werden im HErmEliN-Projekt lediglich für Staub betrachtet. Bei allen anderen Stoffen wird ausschließlich von geführten Quellen ausgegangen. 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.

Bei den industriellen Quellen handelt es sich zu einem Großteil um geführte Quellen mit definierten Massenströmen in einer bestimmten Höhe. Das im späteren für die Berechnung der Immissionen genutzte Modell verarbeitet diese Quellen entsprechend ihrer effektiven Quellhöhe. Diese Überhöhung der Quellhöhe gegenüber der Bauhöhe des Schornsteins ergibt sich aus der Wirkung des Wärmeinhaltes und des vertikalen Austrittsimpulses der Abgase.

Lediglich die bodennahen diffusen Flächenquellen werden in die bodennächste Schicht der Gitterstruktur des Modells übertragen. Diese sind dabei lediglich als Quellen für Staub von Relevanz. Die Darstellung in Abbildung 5 zeigt daher die auf die Gitterstruktur übertragenen Flächenquellen zusammen mit den Standorten der Punktquellen.

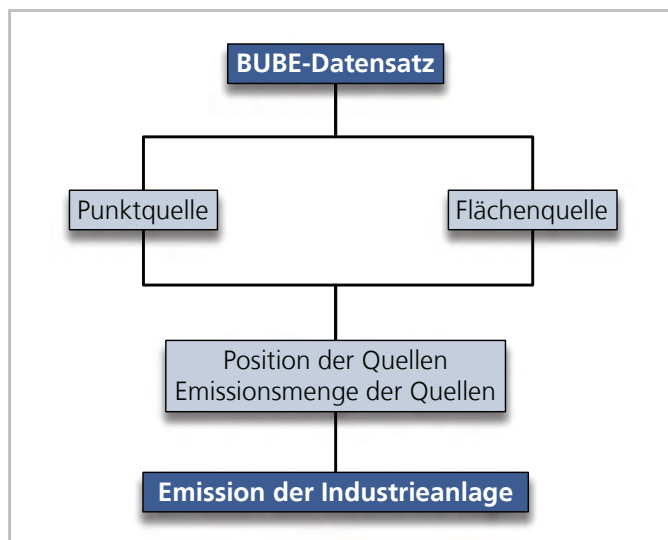


Abbildung 4: Schema Industrie

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

**Tabelle 2: Emissionen Industrie**

Auswertung der in der BUBE-Online-Datenbank abgelegten Daten aller Punktquellen für NO_x, PM₁₀ und NH₃ für die niedersächsischen Landkreise, kreisfreien Städte sowie die Region Hannover mit LHH

Landkreis / kreisfreie Stadt	NO _x in kg/a	PM ₁₀ in kg/a	NH ₃ in kg/a
Ammerland	97.485	16.836	95
Aurich	415.863	8.538	0
Braunschweig, Stadt	749.378	24.192	2.186
Celle	101.509	10.362	0
Cloppenburg	295.623	518.296	0
Cuxhaven	146.665	20.609	0
Delmenhorst, Stadt	83.178	5.310	9
Diepholz	608.927	92.130	2.349
Emden, Stadt	245.655	12.030	0
Emsland	2.512.677	650.204	817
Friesland	424.578	8.863	0
Gifhorn	97.191	10.638	16.674
Goslar	433.254	28.341	2.665
Göttingen	401.432	34.778	4.295
Grafschaft Bentheim	401.314	138.075	1.410
HamelN-Pyrmont	437.008	44.992	3.526
Hannover, Region mit LHH	4.514.026	104.239	81.377
Harburg	63.424	158	0
Heidekreis	300.843	7.725	0
Helmstedt	1.577.813	23.476	0
Hildesheim	603.258	119.159	5.288
Holzwinden	877.791	27.699	2
Leer	237.447	11.679	0
Lüchow-Dannenberg	49.798	3.571	0
Lüneburg	333.805	5.857	473
Nienburg (Weser)	1.046.723	42.333	6.093
Northeim	387.631	22.152	0
Oldenburg (Oldb), Stadt	436.173	103.632	0
Oldenburg (Oldenburg)	79.747	3.304	0
Osnabrück	810.170	151.770	76
Osnabrück, Stadt	345.007	12.598	477
Osterholz	46.375	804	16
Osterode am Harz	229.577	17.390	2.139
Peine	2.692.410	59.742	50
Rotenburg (Wümme)	228.328	21.367	7
Salzgitter, Stadt	4.042.707	237.162	0
Schaumburg	374.584	7.347	0
Stade	386.018	15.618	0
Uelzen	422.621	55.144	2.581
Vechta	187.632	237.032	164
Verden	186.119	5.155	0
Wesermarsch	190.378	50.508	0
Wilhelmshaven, Stadt	2.469.357	121.192	3.389
Wittmund	105.463	2.239	0
Wolfenbüttel	78.499	32.286	469
Wolfsburg, Stadt	1.563.721	61.475	4.379
Summe Niedersachsen	32.319.180	3.188.007	141.005

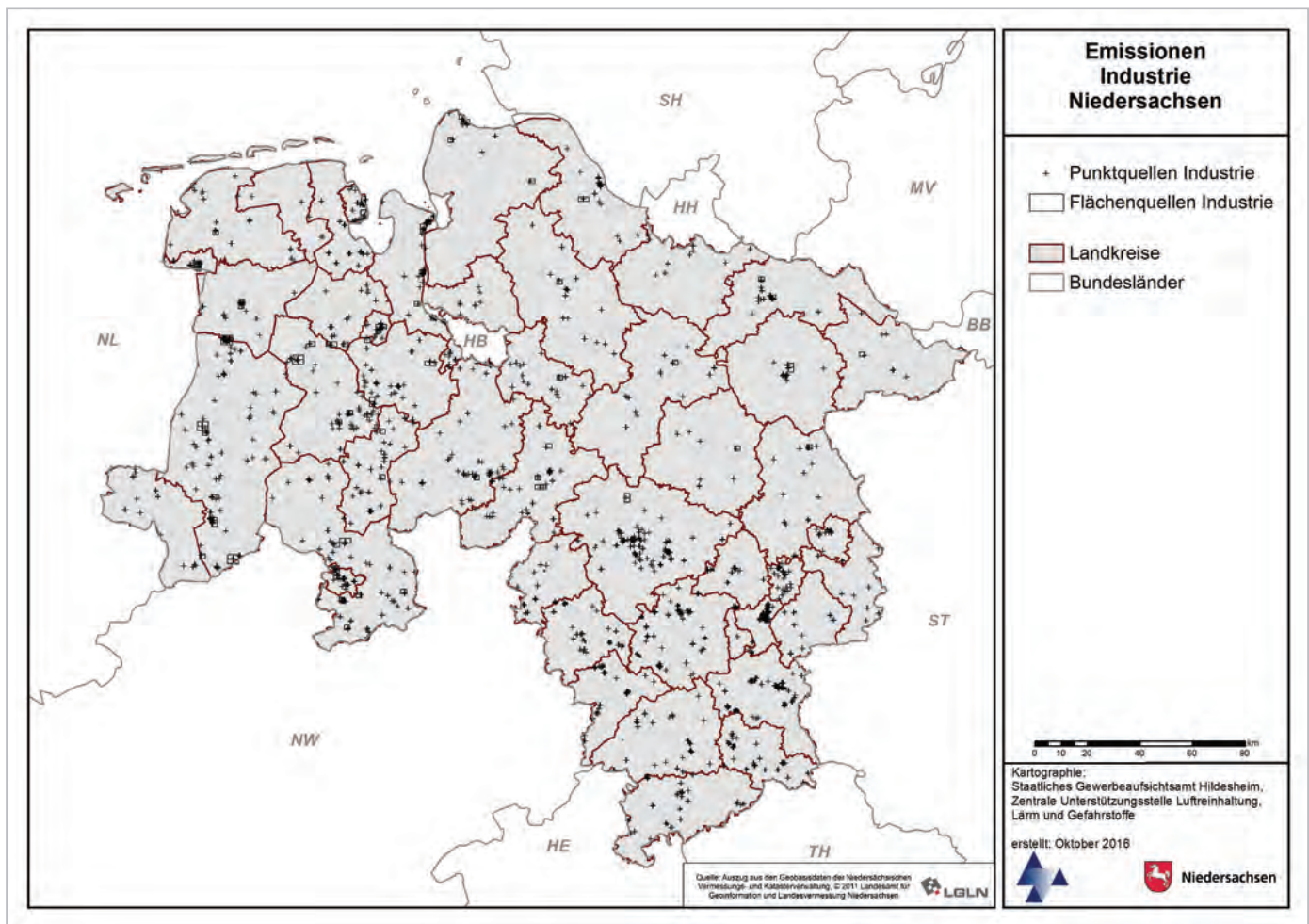


Abbildung 5: Emissionsquellen der Industrie

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})

5.2.2 Landwirtschaftliche Großbetriebe

Landwirtschaftliche Betriebe, die eine bestimmte Anzahl an genehmigten Tierplätzen überschreiten, gelten als genehmigungsbedürftige Industrieanlagen nach den Regelungen der 4. BImSchV [56] und sind folglich verpflichtet, ihre Emissionen der BUBE-Datenbank zu melden. Die Emissionen der landwirtschaftlichen Tierhaltungsbetriebe werden im HErmEliN-Projekt jedoch auf der Grundlage der Daten der Tierseuchenkasse (TSK) sowie Daten der Landkreise zu den Betrieben erfasst (Abschnitt 5.3). Die in der BUBE-Datenbank genannten Emissionen der Tierhaltungsanlagen werden lediglich als Vergleichswert zur Überprüfung der verwendeten Methode zur Emissionsermittlung herangezogen.

5.2.3 Emissionen von Biogasanlagen

Biogasanlagen fallen ab einer bestimmten Anlagengröße und Leistung ihrer BHKW-Module gleichfalls in den Bereich der

genehmigungspflichtigen Industrieanlagen nach 4. BImSchV. Mithin existiert für einen Großteil der Biogasanlagen auch eine Meldepflicht für die Emissionsdatenbank BUBE-Online.

Bei dem Prozess der Biogasgewinnung entstehen gasförmige Emissionen durch die Anlagen selbst in kaum relevanten Mengen. Nahezu die gesamte Verfahrenskette zur Vergärung der Substrate (Mais- oder Grassilage, Gülle, o.a.) ist gasdicht ausgelegt, um Verluste von Biogas zu vermeiden. Erst bei der Verbrennung des Endprodukts in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung entstehen die verbrennungstypischen Emissionen von NO_x , PM_{10} , usw.

Durch die Lagerung der Substrate auf dem Gelände der Biogasanlagen entstehen in der Regel keine relevanten Emissionen der hier betrachteten Stoffe. Einzig bei einer offenen Lagerung von tierischer Gülle kann es zur Emission von Ammoniak (NH_3) kommen. Die Anlieferung und die



Einbringung von Feststoffen in die Anlage können zudem Emissionen von Staub verursachen. Beide Quellen werden aufgrund der fehlenden Eingangsdaten jedoch nicht betrachtet. Gleiches gilt für die Ausbringung der Gärreste als Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Im Jahr 2014 gab es in Niedersachsen 1.724 Biogasanlagen, womit etwa 18 % der in Deutschland vorhandenen Biogasanlagen in Niedersachsen stehen [19]. 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. Es sind unterschiedliche Umgebungsbedingungen für den Ablauf der einzelnen Teilschritte notwendig. Diese Bedingungen werden in Biogasanlagen durch die räumliche Trennung der Teilschritte voneinander erreicht (VDI 3475, Bl. 4 [20]).

Für Niedersachsen konnten spezifische Daten zu Biogasanlagen aus einem landesweiten Inventarbericht [21] ermittelt werden. Es werden somit auch Anlagen erfasst, die nicht die beschriebenen Kriterien für eine Meldung der Emissionen nach 11. BImSchV erreichen bzw. die nicht genehmigungspflichtig nach 4. BImSchV sind. Damit kann ein konservativerer Ansatz der Emissionen dieser Quellgruppe vorgenommen werden als mit den Daten des BUBE-Datensatzes. Um eine Dopplung der Daten in den Emissionen zu verhindern, wurden die entsprechenden Datensätze zu den Biogasanlagen des BUBE-Datensatzes für Vergleiche genutzt, in der Berechnung jedoch nicht berücksichtigt.

Die vorhandenen Daten des Inventarberichts beinhalten die installierte elektrische Leistung des oder der Blockheizkraftwerk-Module (BHKW) der Biogasanlagen. Zusammen hatten die in Niedersachsen vorhandenen Biogasanlagen eine installierte elektrische Leistung von 884 MW [19]. Aus der installierten elektrischen Leistung wird für jede Biogasanlage einzeln nach dem in Abbildung 6 dargestellten Ablaufschema die jährliche Emission von Luftschadstoffen berechnet. Die dafür verwendeten Formeln um von der Leistung zur tatsächlichen Emission einer Biogasanlage zu kommen, sind in Tabelle 20 im Anhang zu finden.

Die Feuerungswärmeleistung wird aus dem Wirkungsgrad der Biogasanlage und der installierten elektrischen Leistung des oder der BHKW-Module berechnet. Da die spezifischen Wirkungsgrade der einzelnen Biogasanlagen in Niedersachsen nicht vorliegen, wird von einem mittleren elektrischen Wirkungsgrad von 36,5 % ausgegangen. Dies entspricht dem derzeitigen bundesdeutschen Durchschnitt für Biogasanlagen [22]. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass in den Biogasanlagen ausschließlich Biogas als Brennstoff eingesetzt wird. Mit dem unteren Heizwert des Biogases von $H_u = 6,0 \text{ kWh/m}^3$ kann der Volumenstrom des BHKW-

Moduls aus der Feuerungswärmeleistung und einem Faktor für das spezifische Verhältnis von Verbrennungsleistung zur Abgasmenge bestimmt werden.

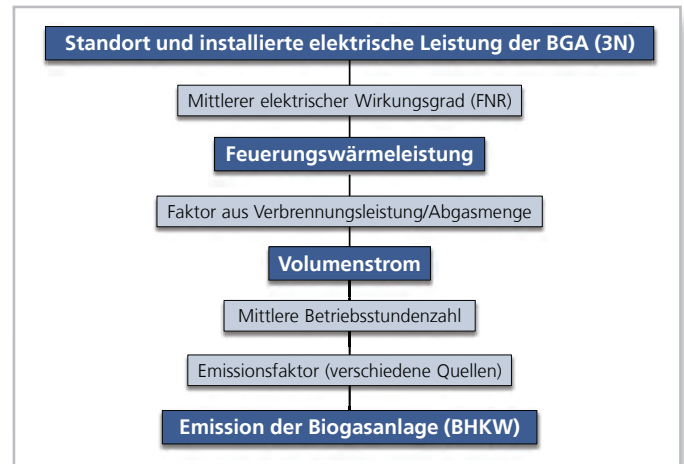


Abbildung 6: Schema Biogasanlagen

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen von Biogasanlagen aus den im Text beschriebenen vorhandenen Daten

Die Emissionen von Luftschadstoffen des BHKW-Moduls werden dann auf der Grundlage von Emissionsfaktoren aus unterschiedlichen Quellen (Tabelle 3) bestimmt. Zusammen mit dem berechneten Volumenstrom als Aktivitätsrate ergibt sich die mittlere stündliche Emission einer Anlage. Als mittlere Betriebsstundenzahl wird von 8.000 h/a ausgegangen, mit der am Ende die jährliche Gesamtemission einer Biogasanlage berechnet wird.

Biogasanlagen, deren Emission nicht am Standort der Anlage selbst stattfindet (Satelliten-BHKWs in mindestens einigen 100 m Entfernung) oder denen eine Biomethananlage zur Aufkonzentration des Methans und zur Einspeisung in das Netz der öffentlichen Gasversorgung nachgeschaltet ist, werden mit einer Emission von Null übernommen. Eine Übersicht zu den Emissionen je Landkreis ist in Tabelle 4 zusammengestellt. Die Emissionen der Biogasanlagen werden zusammen mit den Punktquellen der Industrie mit einer effektiven Quellhöhe in das Ausbreitungsmodell übernommen.

Tabelle 3: Emissionsfaktoren für Biogasanlagen

Für die Berechnung der Emissionen der Biogasanlagen in Niedersachsen auf den Abgasvolumenstrom bezogene Emissionsfaktoren (aus verschiedenen Quellen)

Schadstoff	Genehmigungsbedürftig ^{*1} nach BImSchG in mg/m ³	Nicht genehmigungsbedürftig nach BImSchG in mg/m ³
NO _x ^{*2}	153	306
CO ^{*2}	153	306
SO ₂	78,07 ^{*4}	78,07 ^{*4}
NH ₃	0,23 ^{*4}	0,23 ^{*4}
N ₂ O	1,54 ^{*4}	1,54 ^{*4}
CH ₄	312,28 ^{*4}	312,28 ^{*4}
NMVOc ^{*2}	9,18	15,3
Staub ^{*2}	5,6	5,6
PM ₁₀ ^{*2}	5,6	5,6
PM _{2,5} ^{*3}	5,6	5,6

^{*1}: Genehmigungsbedürftig nach BImSchG sind Anlage ab FWL ≥ 1 MW (70 % der Anlagen)
^{*2}: Werte aus Messungen / der Emissionsüberwachung der Länder
^{*3}: da keine Messungen vorhanden Annahme TSP = PM₁₀ = PM_{2,5}
^{*4}: Quelle: [23]

**Tabelle 4: Emissionen Biogasanlagen**

Auswertung der auf Basis der 3N-Daten [21] ermittelten Emissionen aller Biogasanlagen für NO_x, PM₁₀, CO, C_nH_m, NH₃ und SO₂ für die niedersächsischen Landkreise, kreisfreien Städte sowie die Region Hannover mit LHH

Landkreis / kreisfreie Stadt	NO _x in kg/a	PM ₁₀ in kg/a	CO in kg/a	C _n H _m in kg/a	NH ₃ in kg/a	SO ₂ in kg/a
Ammerland	56.272	1.767	56.272	3.216	72	24.651
Aurich	78.471	2.719	78.471	4.623	110	37.928
Braunschweig, Stadt	4.266	156	4.266	256	6	2.177
Celle	144.813	4.629	144.813	8.321	188	64.573
Cloppenburg	258.745	8.665	258.745	15.082	353	120.872
Cuxhaven	125.631	3.563	125.631	6.970	144	49.696
Delmenhorst, Stadt	5.921	182	5.921	336	7	2.542
Diepholz	262.432	8.726	262.432	15.263	354	121.705
Emsland	407.686	13.303	407.686	23.573	540	185.549
Friesland	47.935	1.390	47.935	2.676	56	19.387
Gifhorn	140.356	4.294	140.356	7.959	174	59.901
Goslar	21.899	736	21.899	1.278	30	10.272
Göttingen	65.188	2.097	65.188	3.753	85	29.243
Grafschaft Bentheim	107.314	3.374	107.314	6.135	137	47.058
Hameln-Pyrmont	65.229	2.168	65.229	3.793	88	30.231
Hannover, Region mit LHH	107.875	3.511	107.875	6.232	143	48.974
Harburg	80.345	2.747	80.345	4.714	112	38.318
Heidekreis	203.697	6.630	203.697	11.769	270	92.479
Helmstedt	21.003	695	21.003	1.220	28	9.696
Hildesheim	56.460	1.967	56.460	3.333	80	27.435
Holzminden	14.363	398	14.363	792	16	5.553
Leer	25.908	694	25.908	1.415	28	9.688
Lüchow-Dannenberg	79.062	2.491	79.062	4.523	101	34.744
Lüneburg	91.642	3.187	91.642	5.406	130	44.446
Nienburg (Weser)	101.551	3.456	101.551	5.950	141	48.206
Northeim	50.256	1.602	50.256	2.885	65	22.342
Oldenburg	184.404	5.703	184.404	10.490	231	79.557
Oldenburg (Oldb), Stadt	1.392	51	1.392	83	2	710
Osnabrück	181.252	5.671	181.252	10.347	230	79.097
Osnabrück, Stadt	1.505	55	1.505	90	2	768
Osterholz	30.965	901	30.965	1.731	36	12.567
Osterode am Harz	4.951	125	4.951	266	5	1.743
Peine	36.066	1.320	36.066	2.164	54	18.403
Rotenburg (Wümme)	322.689	10.409	322.689	18.593	423	145.195
Salzgitter, Stadt	2.133	78	2.133	128	3	1.088
Schaumburg	35.607	1.130	35.607	2.041	46	15.763
Stade	61.960	2.079	61.960	3.614	85	29.004
Uelzen	67.249	2.152	67.249	3.865	88	30.024
Vechta	75.262	2.637	75.262	4.451	107	36.781
Verden	49.053	1.497	49.053	2.780	61	20.885
Wesermarsch	35.069	873	35.069	1.879	35	12.181
Wilhelmshaven, Stadt	7.035	247	7.035	416	10	3.446
Wittmund	54.357	1.771	54.357	3.142	72	24.705
Wolfenbüttel	28.568	1.045	28.568	1.714	42	14.577
Wolfsburg, Stadt	12.027	440	12.027	722	18	6.137
Niedersachsen	3.815.865	123.333	3.815.865	219.991	5.009	1.720.296

5.3 Landwirtschaft

Die Quellgruppe Landwirtschaft umfasst im HERmEliN-Projekt in erster Linie die Emissionen aus der Tierhaltung. Bei der Haltung von Nutztieren in Stallanlagen entstehen sowohl unterschiedliche gasförmige Emissionen als auch Emissionen von Staub. Es existiert eine Vielzahl von Halteverfahren mit jeweils unterschiedlichen Auswirkungen auf das Emissionsverhalten. Die Emissionen von Luftschadstoffen sind demzufolge von verschiedenen Faktoren abhängig, wobei

- die Tierart,
 - die Anzahl der Tiere im Stallgebäude, ihre Besatzdichte und ihre Aufenthaltsdauer im Stall,
 - die Sauberhaltung der Stallanlagen,
 - die Luftaustauschrate,
 - die Zuluft- und Abluftregelung im Stallgebäude und
 - Ort und Dauer der Lagerung von Fest- und Flüssigmist
- die größten Einflüsse auf die Gesamtemission haben.

Emissionen entstehen generell bei der Zersetzung stickstoffhaltigen organischen Materials, z. B. von tierischen Exkrementen, bei der beispielsweise der gebundene Stickstoff als Ammoniak (NH_3) freigesetzt wird. Aber auch die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsfäkalien (aus organischer Substanz) und Mineräldünger (anorganisch) trägt zu den Emissionen der Landwirtschaft bei.

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 Silagefutter und Gülle im Stall sowie deren Lagerung in und außerhalb der Stallanlagen. Das Ausbringen des festen und flüssigen Wirtschaftsdüngers aber auch von Mineräldünger sorgt wiederum auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen für Emissionen von NH_3 und NMVOC. Auch bei der Weidehaltung von Tieren entstehen diese Emissionen sowie zusätzlich Methan (CH_4). Die Emissionen von verbrennungstypischen Luftschadstoffen wie NO_x sind aufgrund der dafür fehlenden Quellen in der Tierhaltung zu vernachlässigen. Die Emissionen, die auf den bewirtschafteten Feldern entstehen (Düngertransport, Feldbearbeitung), werden zusammengefasst und im verwendeten Emissionsfaktor berücksichtigt. Die motorbedingten Emissionen des Offroadverkehrs auf den Flächen werden in Abschnitt 5.5.4 behandelt.

Entsprechend des für das gesamte HERmEliN-Projekt gesteckten Ziels, die Emissionsdaten auch räumlich so exakt wie möglich erfassen zu können, wurde für die Quellgruppe Landwirtschaft gleichfalls mit einem bottom-up-Ansatz gearbeitet (Abbildung 7). Die Bestimmung der Lage der

Stallanlagen als Emissionsquellen steht dabei im Vordergrund der Betrachtung. Auf die ermittelten Stallanlagen werden dann die Emissionen verteilt.

Die zentrale Datenbasis für die Identifizierung der Emissionsquellen liefern die automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) und Daten des amtlichen topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS). Die ALK zeigt die Grundrisse und die räumliche Position aller Gebäude in Niedersachsen mit der Aktualität des Bearbeitungszeitraumes (2013 – 2017). Die Gebäudeidentifizierung (Stallanlage oder keine Stallanlage) wird anhand von Gebäudedaten (LOD1, 2013) des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) vorgenommen. Dabei wird für unterschiedliche Tierarten von unterschiedlichen charakteristischen Stallbauformen ausgegangen, die sich aus empirischen Erhebungen als plausibel erwiesen haben. Details zur genauen Vorgehensweise sind im Abschnitt 9.2 im Anhang dargelegt.

Zusätzlich wurden anhand von Vergleichen der aus der ALK gewonnenen Daten mit Orthophotos und georeferenzierten Fotos Stallanlagen im Datenbestand ergänzt oder herausgestrichen. Diese ergänzende Vorgehensweise konnte bislang nicht in allen Teilen des Landes angewendet werden.

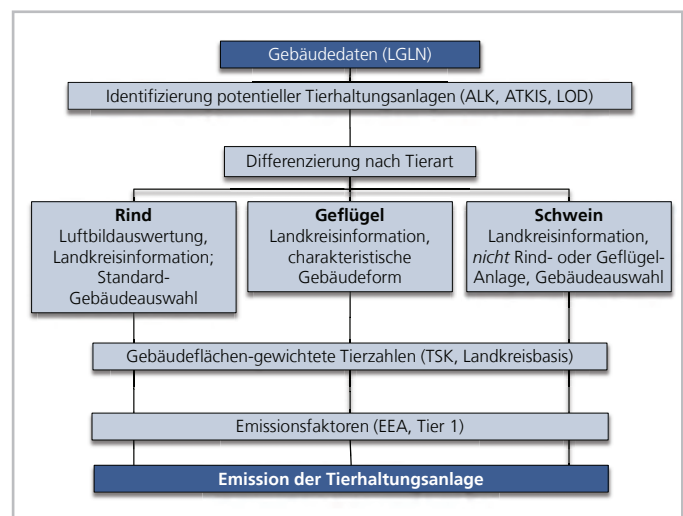


Abbildung 7: Schema Tierhaltungen

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

Für die Emissionen der Stallanlagen stehen aufgrund der stark differierenden Ausprägungen der Tierhaltung lediglich Emissionsfaktoren als Konventionen zur Verfügung. Es werden die Emissionsfaktoren der europäischen Umweltagentur (EEA) der Ebene Tier 1 verwendet [24]. Emissionsfaktoren für NH_3 , PM_{10} und NMVOC, die sich auf die Tierplatzzahlen innerhalb einer Stallanlage beziehen, beinhalten Informationen zu



- der Tierart (z. B. Rind, Schwein, Geflügel),
- der Haltungsform (z. B. Aufzucht, Mast, Legehennen),
- der Haltungsart (z. B. ganzjährig im Stall, partielle Weidehaltung),
- der Art der Stallanlage (z. B. frei belüftet, zwangsbelüftet) und
- der Wirtschaftsdüngerlagerung.

Zusammen mit den Tierplatzzahlen der Tierseuchenkasse Niedersachsen (TSK, 2013), die auf Landkreisebene zur Verfügung gestellt wurden, kann die mittlere jährliche Emission der betrachteten Stoffe jeder identifizierten Stallanlage berechnet werden. Hierzu werden die Tierzahlen gebäudeflächenge-

wichtet auf die verschiedenen Stallanlagen eines Landkreises verteilt. Die unterschiedlichen Emissionsfaktoren der Ebene Tier 1, die für die verschiedenen Haltungsformen (Mastbetrieb, Aufzuchtbetrieb, auf Festmist, auf Flüssigmist, usw.) vorliegen, werden aufgrund der niedersachsenweiten Verhältnisse, die aus den Zahlen der TSK bekannt sind, zu einem gewichteten mittleren Emissionsfaktor pro Tierart zusammengeführt. Aus der Anzahl der Tiere einer Stallanlage und dem Emissionsfaktor lässt sich die Emission jeder Anlage ermitteln.

Das Ergebnis der Verteilung der Emissionen auf die identifizierten Stallgebäude ist für PM₁₀ in der auf die Rechengitter des Ausbreitungsmodells (2 km * 2 km und 0,5 km * 0,5 km) aufgerasterten Darstellung in Abbildung 8 zu sehen. Tabelle 5 zeigt die Verteilung der Emissionen auf die Landkreise.

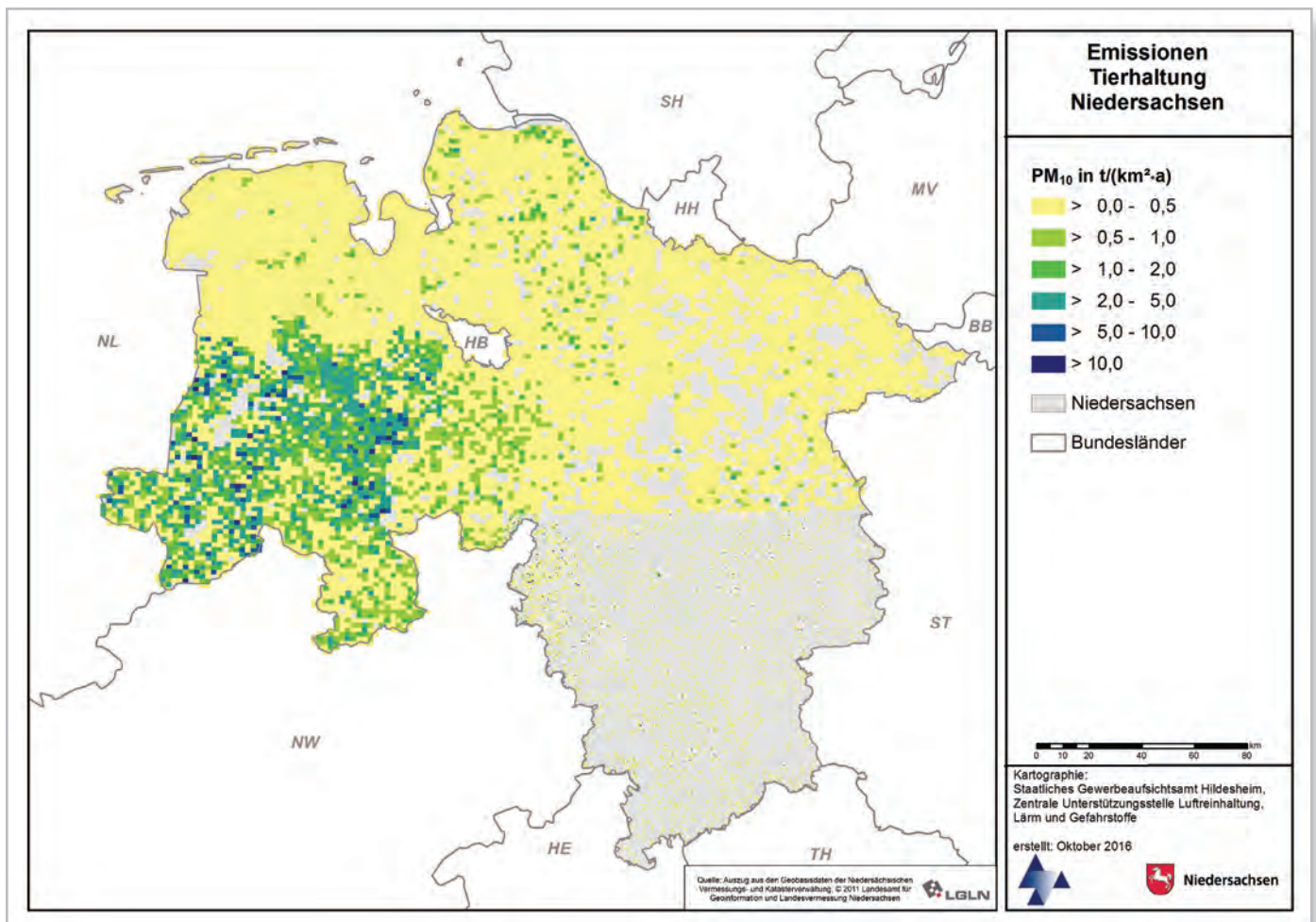


Abbildung 8: PM₁₀-Emissionen Landwirtschaft

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen der Landwirtschaft in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

Tabelle 5: Emissionen Landwirtschaft

Auswertung der ermittelten Emissionen der Tierhaltungsanlagen für NO, PM₁₀, PM_{2,5}, NH₃ und NMVOC für die niedersächsischen Landkreise, kreisfreien Städte sowie die Region Hannover mit LHH

Landkreis / kreisfreie Stadt	NO* in kg/a	PM ₁₀ in kg/a	PM _{2,5} in kg/a	NH ₃ in kg/a	NMVOC in kg/a
Ammerland	890	151.689	39.738	2.637.492	1.189.109
Aurich	857	141.061	45.751	3.564.839	1.587.402
Braunschweig, Stadt	4	976	160	13.052	1.539
Celle	599	121.805	23.436	1.562.639	437.397
Cloppenburg	11.541	2.372.262	399.284	22.820.605	5.429.842
Cuxhaven	2.064	322.317	102.187	7.173.377	3.568.466
Delmenhorst, Stadt	4	937	158	15.246	1.539
Diepholz	4.152	855.295	151.752	9.430.770	2.361.734
Emden, Stadt	1	200	29	687	270
Emsland	23.629	4.607.722	731.164	30.525.025	8.967.665
Friesland	569	88.987	29.623	2.190.028	1.059.204
Gifhorn	506	97.384	18.657	1.076.765	362.167
Goslar	31	8.497	1.453	147.311	14.163
Göttingen	177	42.349	6.896	549.526	66.400
Grafschaft Bentheim	6.974	1.348.159	223.181	9.925.884	3.148.506
Hameln-Pyrmont	297	64.137	9.993	590.506	95.080
Hannover, Region mit LHH	491	98.881	21.767	1.642.117	502.378
Harburg	392	73.656	18.917	1.464.797	532.595
Heidekreis	563	123.476	27.795	2.445.084	628.012
Helmstedt	9	2.060	330	23.972	3.167
Hildesheim	106	25.992	4.277	361.314	41.299
Holzminden	42	11.256	1.903	183.715	18.502
Leer	705	95.756	42.324	3.337.970	1.746.985
Lüchow-Dannenberg	174	40.947	6.614	502.973	63.559
Lüneburg	95	25.555	4.337	426.207	42.213
Nienburg (Weser)	1.687	351.451	63.748	4.194.074	1.031.718
Northeim	317	68.716	10.719	639.524	102.025
Oldenburg (Oldb), Stadt	18	2.217	1.115	89.860	48.334
Oldenburg (Oldenburg)	5.657	1.093.940	178.686	7.713.243	2.426.561
Osnabrück	7.218	1.478.470	255.773	15.092.192	3.763.795
Osnabrück, Stadt	45	10.750	1.749	138.631	16.836
Osterholz	335	45.443	20.433	1.632.264	847.581
Peine	173	34.606	5.198	214.530	48.941
Rotenburg (Wümme)	2.387	464.791	107.030	7.949.271	2.657.386
Salzgitter, Stadt	6	1.473	241	19.813	2.325
Schaumburg	457	94.394	14.396	702.582	136.161
Stade	1.828	337.827	71.970	4.361.996	1.683.292
Uelzen	447	98.675	15.524	989.361	148.116
Vechta	10.037	2.065.916	338.583	18.617.172	4.238.824
Verden	597	142.466	23.155	1.825.812	222.859
Wesermarsch	457	53.325	31.300	2.610.215	1.419.552
Wilhelmshaven, Stadt	31	4.827	1.664	128.963	60.247
Wittmund	464	73.349	25.662	2.022.388	934.978
Wolfenbüttel	136	26.900	4.021	156.274	37.806
Wolfsburg, Stadt	3	686	107	6.376	1.019
Niedersachsen	87.171	17.171.580	3.082.803	171.716.445	51.697.553

*: NO beinhaltet die aus mikrobiologischen Umsetzungsprozessen entstehenden Stickoxide (N₂O, NO)



5.4 Hausbrand

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).

Für das HErmEliN-Projekt werden Daten des Landesinnungsverbands der Schornsteinfeger in Niedersachsen (LIV) aus den Jahren 2013 – 2016 verwendet. Diese Daten werden von den Schornsteinfegern direkt an den Anlagen erhoben und in digitalen Kkehrbüchern erfasst. Ein Beispiel für die gelieferten Daten ist in Abbildung 33 (Abschnitt 9.3 im Anhang) dargestellt. Allerdings liegt für die Schornsteinfeger das Hauptaugenmerk der Erfassung der Daten zu jeder Anlage nicht auf der Bestimmung der Gesamtemission einer Anlage im Jahresgang sondern vielmehr auf dem Zustand und der Funktionsfähigkeit der Anlage.

Daher und aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Kkehrbuch-Software bei den Schornsteinfegern innerhalb des LIV differieren die Daten zu den Einzelquellen untereinander in ihrer Qualität und Vollständigkeit in den unterschiedlichen Schornsteinfegerbezirken. Darüber hinaus konnten auch nicht für jeden Haushalt in Niedersachsen Daten bezogen werden (z. B. von nicht in der Innung organisierten Schornsteinfegern).

Die Daten bieten dennoch die Möglichkeit die Quellgruppe Hausbrand größtenteils gebäudescharf nach den jeweiligen Anlagenparametern (Brennstoff, Leistung, etc.) und nach den von ihnen emittierten Stoffen (NO_x, PM) zu differenzieren. Angesichts der fehlenden Kenntnis der genauen jährlichen Emissionsmenge der einzelnen Anlagen, die insbesondere von meteorologischen Bedingungen und dem individuellen Heizverhalten der Bewohner beeinflusst ist, sind kleinräumige Detailaussagen mit Hilfe dieser Daten nur bedingt möglich. Für die Herleitung eines landesweiten Emissionskatasters basierend auf einem für das HErmEliN-Projekt angestrebten bottom-up-Ansatzes sind sie dagegen geeignet. Zudem wird für die Erstellung der mittleren jährlichen Immissionsbelastung mit dem verwendeten Ausbreitungsmodell auf den beschriebenen Rechengittern von 2 km * 2 km und 0,5 km * 0,5 km gerechnet, in denen kleinere Ungenauigkeiten bezüglich der räumlichen Lage einer Quelle nicht ins Gewicht fallen.

Die hier gewählte Methodik zur Berechnung der Emissionen beruht im Wesentlichen auf den Arbeiten von Struschka et al. [25]. Dabei wurde das Emissionsaufkommen ausgehend von gebäude- und feuerstättenbezogenen Eckdaten in Verbindung mit statistisch ermittelten Emissionsfaktoren

des Umweltbundesamtes (UBA [25]) berechnet. Abbildung 9 zeigt das genutzte Verfahrensschema zur Ermittlung der Emissionen des Hausbrands. Die Schornsteinfegerdaten sind über die Adressdaten der jeweiligen Anlage gekennzeichnet und besitzen mithin keinen direkt verwertbaren Raumbezug. Das Verfahren der Georeferenzierung ist in Abschnitt 9.3 im Anhang dargestellt.

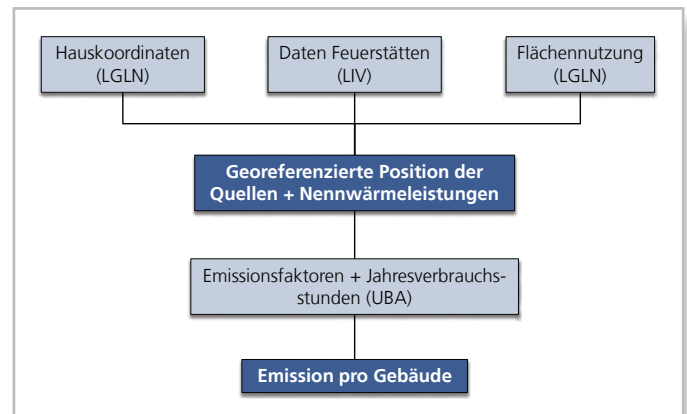


Abbildung 9: Schema Hausbrand

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

Zu den Adressinformationen werden Informationen zur Feuerstätte vom LIV erfasst (Abbildung 9). Dabei werden für jede erfasste Anlage Informationen zu

- der Art der Feuerstätte,
- der Nennwärmeleistung der Feuerstätte,
- dem verwendeten Brennstoff,
- der fakultativen Warmwasserbereitung,
- der Haupt-/Nebenfeuerstätte und
- der Schornsteinhöhe ab Feuerstätte gesammelt.

Die vom LIV gelieferten Daten zu den Feuerstätten und den Nennwärmeleistungen sind zum Teil unplausibel (z. B. wenn der genannte verwendete Brennstoff nicht zur Art der Feuerstätte passt) oder unvollständig. Für diese Datensätze wurden automatische Korrekturen bzw. Ergänzungen eingeführt. Diese Korrekturen basieren zumeist auf mittleren Werten (z. B. der Nennwärmeleistung) der vorhandenen plausiblen Daten.

Die von Struschka et al. [25] ermittelten gerätebezogenen Jahresverbrauchsstunden und Emissionsfaktoren enthalten Werte für Anlagen, differenziert nach Haushalten und Gewerbe. Diese Nutzungsinformation lässt Rückschlüsse auf das Heizverhalten zu und wird auf die Feuerstätten übertragen. Die räumliche Zuordnung eines Gebäudes zu einem Wohn-, Gewerbe- oder Mischgebiet erfolgt hierfür über die

Daten zur Flächennutzung aus dem ATKIS-Datenbestand. Die Emission der Gebäude in Mischgebieten wurde ergänzend als Mittelwert aus Emissionsfaktoren für Haushalt und Gewerbe bestimmt.

Die Ermittlung der mittleren jährlichen Emissionen des Hausbrands wird durch die Verbindung der Daten des LIV mit statistischen Daten zu Jahresverbrauchsstunden sowie den Emissionsfaktoren des UBA mit Hilfe eines Datenbankprogramms erreicht. Eine wesentliche Kenngröße zur Berechnung der Emission ist die Nennwärmeleistung. Die Nennwärmeleistung gibt Auskunft über die maximal zu erzielende Leistung einer Feuerstätte. Für verschiedene Kom-

binationen von Nennwärmeleistung, Feuerstättenart und Brennstoff stellt das Umweltbundesamt Jahresverbrauchsstunden und Emissionsfaktoren bereit. Die für die weitere Berechnung notwendige Harmonisierung von UBA- und LIV-Angaben zur Feuerstättenart wurde in Abstimmung mit dem LIV vorgenommen. Die Feuerstätten-Emission wird aus dem jeweiligen Emissionsfaktor und der Nennwärmeleistung jeder einzelnen Anlage berechnet.

Die Ergebnisse dieser Emissionsberechnung ist für die niedersächsischen Landkreise in Tabelle 6 dargestellt. Des Weiteren sind die Verteilungen der Emissionen für NO_x und PM_{10} in Abbildung 10 und Abbildung 11 zu sehen.

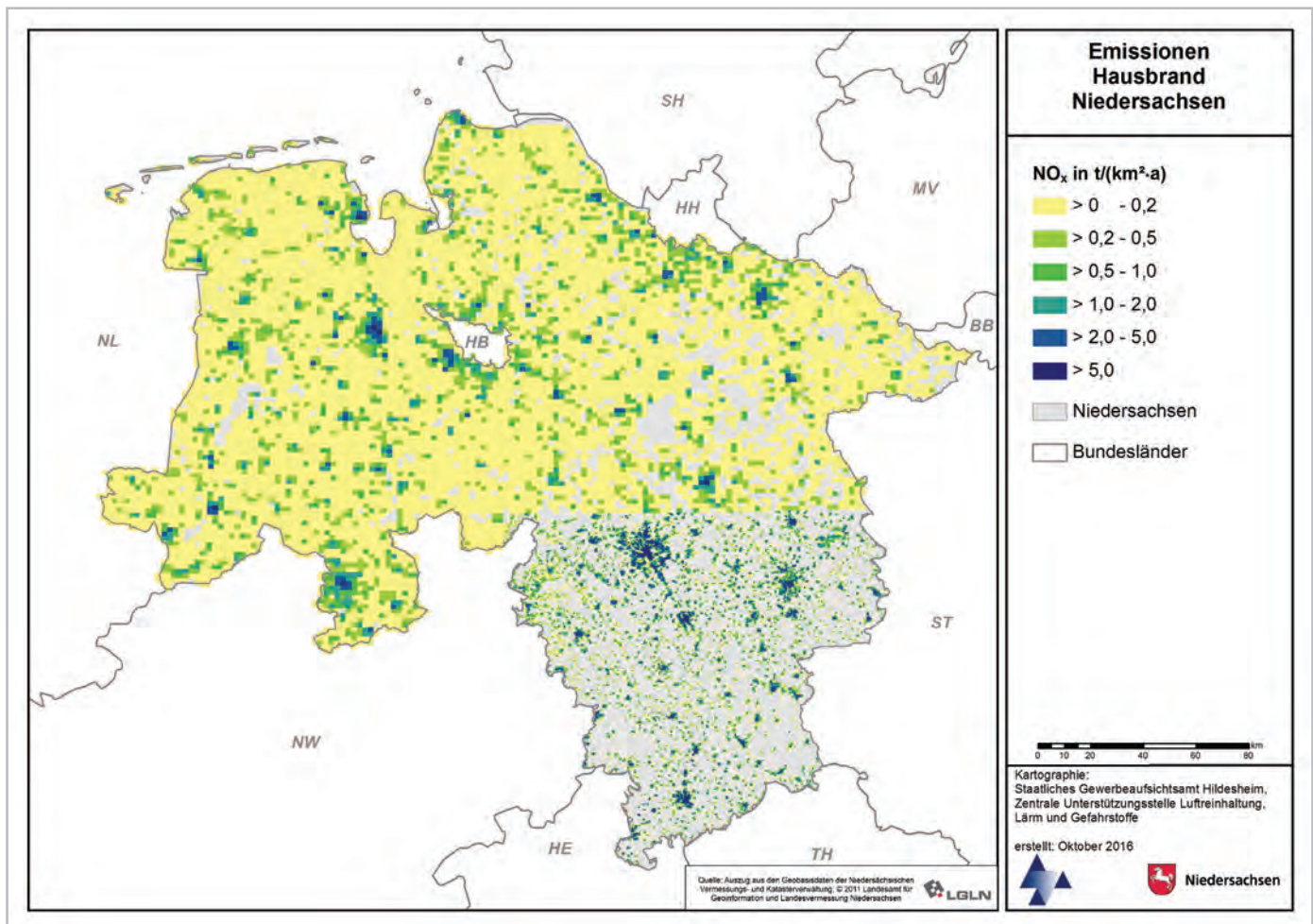


Abbildung 10: NO_x -Emissionen Hausbrand

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen aus dem Hausbrand in t/(km²·a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

**Tabelle 6: Emissionen Hausbrand**

Auswertung der auf Basis der LIV-Daten ermittelten Emissionen des Hausbrands für NO_x, PM₁₀ und PM_{2,5} für die niedersächsischen Landkreise, kreisfreien Städte sowie die Region Hannover mit LHH

Landkreis / kreisfreie Stadt	Einwohner	NO _x in kg/a	PM ₁₀ in kg/a	PM _{2,5} in kg/a
Ammerland	121.200	151.998	31.459	28.365
Aurich	189.081	164.749	14.079	13.713
Braunschweig, Stadt	250.184	211.088	38.096	35.845
Celle	176.843	271.608	73.817	69.255
Cloppenburg	164.803	201.698	42.257	36.567
Cuxhaven	197.560	304.549	68.409	57.605
Delmenhorst, Stadt	75.807	100.849	12.209	11.970
Diepholz	213.620	277.041	62.168	58.053
Emden, Stadt	50.352	39.404	2.477	2.499
Emsland	318.887	481.351	110.142	102.532
Friesland	97.670	119.587	25.262	23.041
Gifhorn	173.721	215.517	60.276	54.946
Goslar	137.218	188.316	38.310	35.774
Göttingen	253.157	392.357	98.048	77.442
Grafschaft Bentheim	135.216	168.726	36.158	34.479
Hameln-Pyrmont	147.975	173.195	40.663	36.980
Hannover, Region mit LHH	1.138.331	1.271.741	228.307	211.493
Harburg	247.353	322.065	85.702	80.929
Heidekreis	137.244	223.755	61.731	57.412
Helmstedt	91.239	128.082	32.661	29.171
Hildesheim	275.027	397.593	88.085	73.745
Holzminen	71.117	140.519	35.583	28.712
Leer	166.940	132.854	8.568	8.598
Lüchow-Dannenberg	48.844	104.355	33.921	30.937
Lüneburg	178.843	220.934	66.182	61.948
Nienburg (Weser)	120.281	150.180	34.216	30.705
Northeim	133.894	239.804	65.123	50.639
Oldenburg (Oldb), Stadt	162.202	208.726	49.308	41.483
Oldenburg (Oldenburg)	128.224	173.019	51.209	44.314
Osnabrück	354.443	480.316	108.906	100.580
Osnabrück, Stadt	160.167	172.326	22.474	21.562
Osterholz	112.285	156.281	36.946	32.502
Osterode am Harz	73.669	112.485	27.913	22.999
Peine	131.538	141.793	38.487	35.140
Rotenburg (Wümme)	162.298	231.606	60.019	49.356
Salzgitter, Stadt	100.365	108.605	17.402	16.257
Schaumburg	156.079	198.936	49.983	45.658
Stade	199.322	243.123	53.900	46.308
Uelzen	92.903	165.271	42.619	39.583
Vechta	138.614	151.602	27.730	24.246
Verden	134.343	159.524	36.358	30.753
Wesermarsch	88.889	85.743	10.173	9.209
Wilhelmshaven, Stadt	75.660	102.094	14.823	14.014
Wittmund	56.799	51.869	4.249	4.106
Wolfenbüttel	120.463	135.882	32.378	30.012
Wolfsburg, Stadt	123.650	77.900	25.757	23.871
Niedersachsen	7.884.320	9.951.016	2.204.543	1.975.308

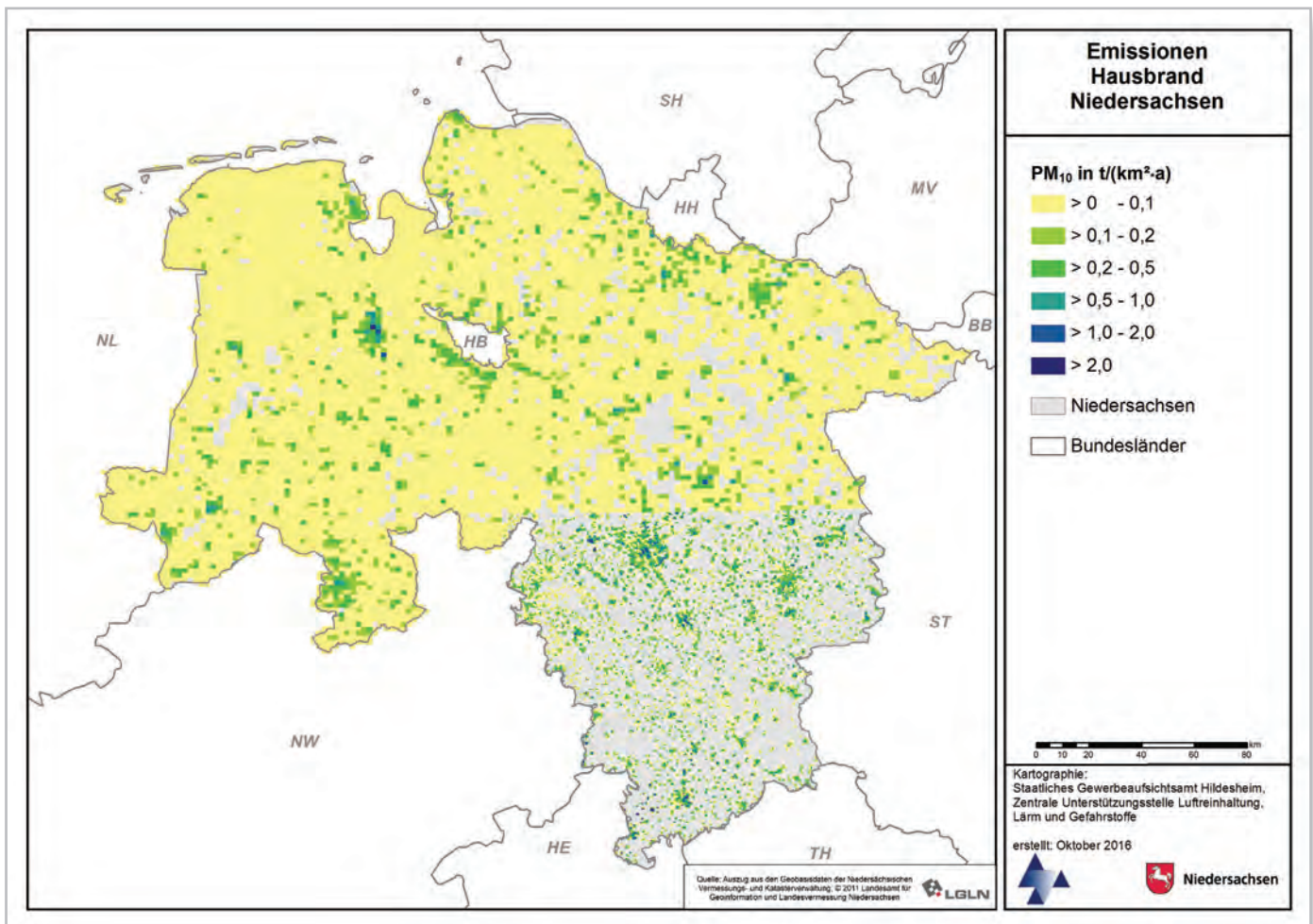


Abbildung 11: PM₁₀-Emissionen Hausbrand

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen aus dem Hausbrand in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

5.5 Verkehr

5.5.1 Straßenverkehr

Die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen erfolgt auf der Basis des Handbuches für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) in der Version 3.2 [26]. Das HBEFA enthält Faktoren für die gängigsten Fahrzeugtypen (PKW, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Linien- und Reisebusse sowie Motorräder), differenziert nach Emissionsklassen (EURO 0 bis EURO VI) sowie nach verschiedenen Verkehrssituationen. Um aus diesen Emissionsfaktoren jährliche Emissionsmengen zu berechnen wurde das Programm IMMIS^{em} [27] in der Version 6 genutzt. Für die Bestimmung der Luftschadstoffemissionen des Straßenverkehrs wird nach dem Schema in Abbildung 12 vorgegangen.

Die Emissionen der jeweiligen Straße wurden für das Bezugsjahr 2011 auf der Basis der Straßenlänge und der spezifischen Emission für die Stoffe NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}, C_nH_m, CO, CH₄, N₂O,

CO₂, SO₂ und NH₃ berechnet. Die spezifische Emission ist hierbei abhängig von der Verkehrsmenge und -zusammensetzung, der Verkehrssituation und der Verkehrsqualität auf der Straße bzw. dem betrachteten Straßenabschnitt.

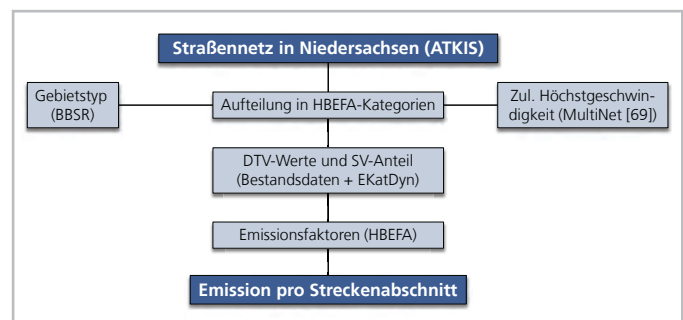


Abbildung 12: Schema Straßenverkehr

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen des Straßenverkehrs aus der im Text beschriebenen Vorgehensweise



Der geometrische Grunddatenbestand des Straßennetzes in Niedersachsen wurde dem ATKIS mit dem Stand Januar 2011 entnommen (Objektartengruppe AX_Strassenachse und AX_Strasse). Dieser Datensatz beinhaltet ca. 100.000 km Straßen und führt für diese Eigenschaften wie z. B. innerörtliche und außerörtliche Bedeutung, Breite der Fahrbahn, Anzahl der Fahrstreifen und Funktion der Straße mit.

Für die Berechnung der Emissionen des Straßenverkehrs sind entsprechend der Systematik des HBEFA 3.2 verschiedene Attribute zur Beschreibung der Verkehrssituation auf jedem Straßenabschnitt erforderlich. So werden Angaben

- zum Gebietstyp („ländlich“ / „Agglomeration“),
- zur Gebietszuordnung (Autobahn / innerorts / außerorts),
- zum Straßentyp (Tabelle 7),
- zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit,
- zur Verkehrsqualität (LoS-Anteile) und
- zur Verkehrsmenge (DTV-Wert und SV-Anteil)

benötigt. Das HBEFA enthält nur eine bestimmte Auswahl von Kombinationen dieser Attribute. Eine Übersicht der auswählbaren Kombinationen von Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit zeigt Tabelle 21 im Anhang. Die Zuordnung dieser Attribute zu den einzelnen Straßen konnte weitestgehend aus den Eigenschaften des ATKIS-Datensatzes ausgelesen werden. Ergänzt werden diese Informationen durch zusätzliche Daten außerhalb des ATKIS-Datensatzes.

Die Straßen wurden zunächst unterteilt in die Gebietstypen „ländlich“ und „Agglomeration“. Die Zuordnung erfolgte auf Grundlage der Daten über die siedlungsstrukturelle Prägung für 2010 der BBSR [28]. Straßen in Gemeinden mit „ländlicher“ oder „teilweise städtischer“ siedlungsstruktureller Prägung wurden dem Gebietstyp „ländlich“ zugeordnet. In Gebieten der Kategorie „überwiegend städtisch“ wurden die Straßen dem Gebietstyp „Agglomeration“ zugeordnet.

Für die Gebietszuordnung werden Straßen, die nach ATKIS als Bundesautobahn klassifiziert sind als solche im Datenbestand mit der Kennung AB (Autobahn) markiert. Straßen, die nicht mit der Kennung AB belegt sind und im Bereich von zusammenhängend bebauten Flächen (ATKIS-Datensatz AX_Ortslagen) verlaufen, wird die Kennung IO (innerorts) zugewiesen. Alle restlichen Straßen erhielten die Kennung AO (außerorts). Die Zuordnung des Straßentyps wurde entsprechend der in Tabelle 7 dargestellten Verteilungen vorgenommen (Abbildung 34, Anhang). Straßen, die im ATKIS-Datensatz als stillgelegte Straßen oder Straßen außer Betrieb klassifiziert sind, werden aus dem Datenbestand gelöscht.

Tabelle 7: Zuordnung des Straßentyps

Für die Berechnungen der Emissionen verwendete Zuordnungen der ATKIS-Straßentypen zu den im HBEFA beschriebenen Straßentypen

ATKIS-Typ	HBEFA-Typ
Autobahn	Autobahn / Stadtautobahn
Bundesstraße	
Landesstraße	Bundes-/Fernstraße
Straße mit überregionaler Bedeutung	
Kreisstraße	Hauptverkehrsstraße
Straße mit innerörtlicher Bedeutung	
Innerörtliche Gemeindestraßen	Erschließungsstraße
Fußgängerzonen	

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit kann aus den navigationsfähigen Vektordaten der Straßennetzdatenbank MultiNet® [29] entnommen werden. Diese haben das Bezugsjahr 2010, sind aber aufgrund der geringen Änderungen der Geschwindigkeitsbegrenzungen im Laufe der Zeit ohne weiteres auf jüngere Jahre übertragbar. Für Straßen, auf denen eine zulässige Höchstgeschwindigkeit unter 30 km/h genannt wird, wird diese einheitlich auf 30 km/h heraufgesetzt. Dies erlaubt die Einordnung dieser Straßen in die HBEFA-Systematik, die für Straßen mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten < 30 km/h keine Emissionsfaktoren nennt (Tabelle 21).

Die Verkehrsqualität beschreibt den Zustand des Verkehrs auf den einzelnen Straßen. Sie wird vom HBEFA in vier Stufen (sogenannte Level of Service, LoS) unterteilt:

- freier Verkehr,
- dichter Verkehr,
- gesättigter Verkehr,
- Stop & Go.

Die Definitionen dieser Verkehrszustände sowie die Übergänge von einem Zustand in den nächsten sind im HBEFA zu finden. Angegeben werden die Anteile der Verkehrszustände am täglichen Verkehrsfluss. Die Anteile werden in Abhängigkeit von der mittleren Verkehrstagesganglinie (VDI 3782 Bl. 7 [30]), der jeweiligen Kapazität der Straße (je Fahrstreifen) und den Schwellwerten für die Kapazitätsauslastungen einer Straße entsprechend ihres Straßentyps (im Programm IMMIS^{em} integriertes Modell; [27]) zugewiesen. Die Anzahl der Spuren wurde soweit möglich aus dem ATKIS-Datensatz übernommen. Fehlende Angaben wurden über die Angaben zur Breite der Fahrbahn (Breite der Fahrbahn / 3) ermittelt oder differenziert nach Straßentyp durch Standardwerte (Tabelle 8) ergänzt.

Tabelle 8: Bestimmung der Anzahl der Fahrspuren

Bei fehlenden Angaben zur Anzahl der Fahrspuren eines Straßenabschnitts verwendete pauschalisierte Zuordnung von Fahrspuren

Straßentyp	Anzahl der Fahrspuren
Erschließungsstraße	1
Hauptverkehrsstraße	
Fern-/Bundesstraße	2
Sammelstraße	
Autobahn	4
Stadtautobahn	

Die Verkehrsmengen (DTV-Wert) und Verkehrszusammensetzungen (Schwerverkehr-Anteil) konnten zum Teil aus Zähl- und Messdaten von Städten oder auch Messdaten der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) übernommen werden. Diese haben teilweise unterschiedliche Bezugsjahre. Da sich die durchschnittlichen täglichen Verkehrsmengen über die Jahre nur langsam und in geringem Umfang ändern, kann diese Ungenauigkeit allerdings in Kauf genommen werden.

Für die ca. 79.500 km Straßen des niedersächsischen Verkehrsnetzes ohne zugewiesene Verkehrszahlen (Nebennetz, Abbildung 13) wird die Verkehrsmenge und die -zusammensetzung für das Bezugsjahr 2011 anhand von soziodemographischen Daten mit dem Nebennetzmodell des Programms EKatDyn (Dynamisches Emissionskataster) [31] abgeleitet. Dabei werden der DTV-Wert, die Anteile der verschiedenen Fahrzeugkategorien am DTV-Wert (leichte LKW, schwere LKW, Busse und Krafträder) sowie die Längsneigung den einzelnen Straßenabschnitten ohne Verkehrszahlen zugeordnet. Die Verteilung der Fahrzeugkategorien wird pauschalisiert mit den in Tabelle 22 (Abschnitt 9.4 im Anhang) dargestellten Werten durchgeführt. Diese Werte basieren auf mittleren Werten der Abschnitte mit vorhandenen DTV-Werten.

Eine Teilmenge von etwa 12.000 km Länge des Straßennetzes sind dabei jedoch Straßen mit untergeordneter oder ohne verkehrliche Bedeutung (Fahrzeugtestgelände, Truppenübungsplätze, Verkehrswege auf autofreien Nordseeinseln), denen nach einem ersten Durchlauf des EKatDyn manuell ein niedriger fester DTV-Wert oder ein DTV-Wert von 0 zugeordnet wurde. Somit entstammen etwa zwei Drittel der verwendeten Verkehrszahlen dem dynamischen Emissionskataster EKatDyn.

Eine niedersachsenweite Übersicht der Verteilung von Straßen mit bereits vorhandenen Daten zur Verkehrsbelastung und aus abgeleiteten Daten nach dem zuvor beschriebenen Schema des EKatDyn ist in Abbildung 13 dargestellt.

Auf der Basis aller vorhandenen Daten kann dann für alle Straßen des Verkehrsnetzes die Emission des Straßenverkehrs für das Bezugsjahr 2011 berechnet werden. Die Berechnung erfolgte mit einer speziellen Ausführung von IMMIS^{em} in der Version 6 [27]. Durch die mit der beschriebenen Methodik ermittelte tägliche Fahrleistung von rund 237.000.000 km auf den Straßen in Niedersachsen ergeben sich für das Jahr 2011 Emissionen in Höhe von etwa 61 kt NO_x und etwa 5 kt PM₁₀ (Tabelle 9).

In einem anschließenden Arbeitsschritt werden die Emissionen des Straßenverkehrs lagebezogen auf das vorgegebene geographische Raster verteilt (Abbildung 15 und Abbildung 14).

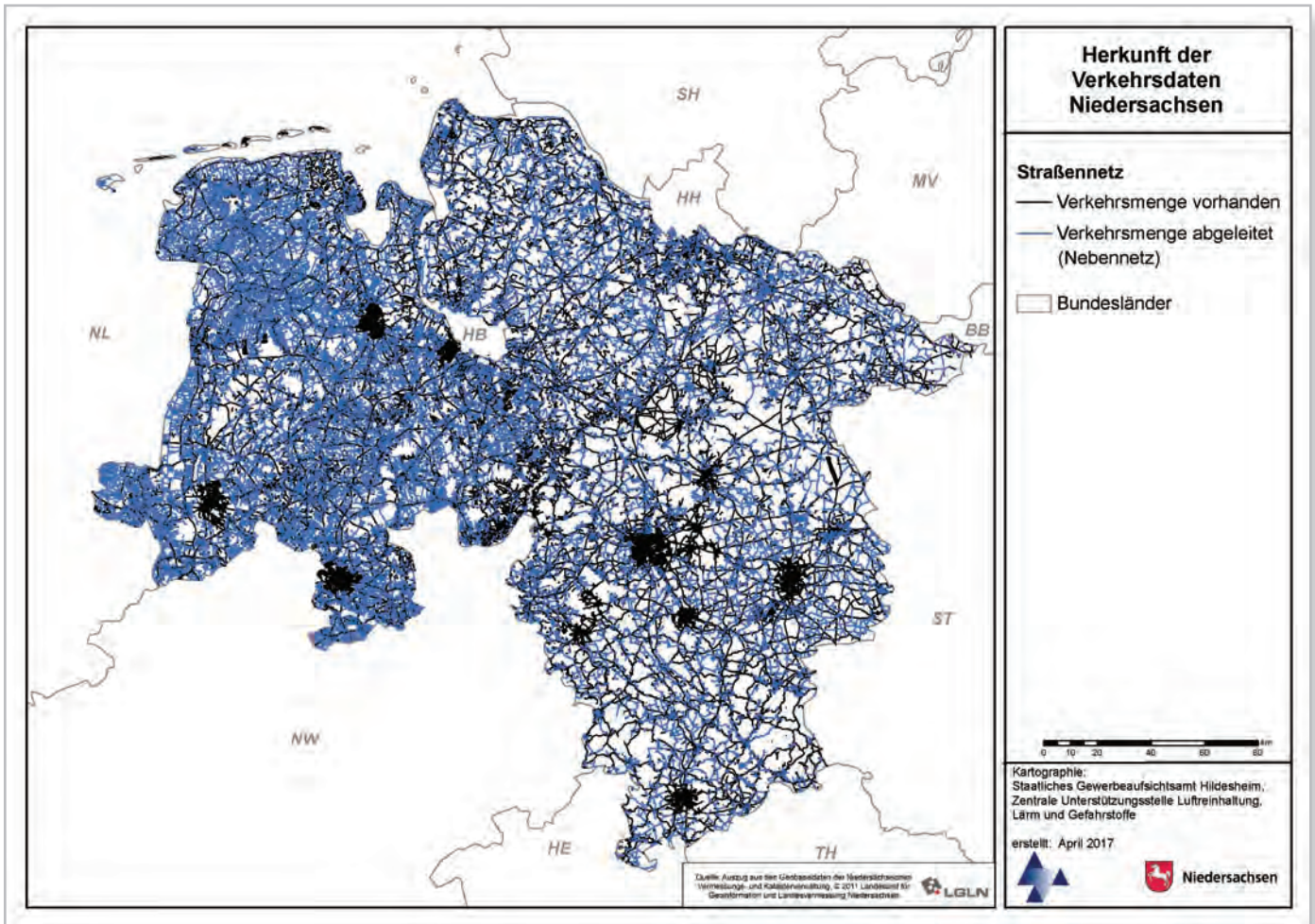


Abbildung 13: Straßennetz in Niedersachsen

Darstellung des gesamten Straßennetzes in Niedersachsen unterschieden nach der Verfügbarkeit von Daten zur Verkehrsmenge (schwarz = vorhanden; blau = nach dem beschriebenen Verfahren abgeleitet)

Tabelle 9: Emissionen des Straßenverkehrs

Auf Grundlage der beschriebenen Vorgehensweise ermittelte Emissionen von NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO, SO₂ und NH₃ des Straßenverkehrs unterschieden nach den Kategorien Autobahn, außerorts ohne Autobahn und innerorts

Lage/Funktion der Straße	Länge in km	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	NH ₃ in kg/a
Autobahn	1.802	25.045.146	1.828.703	1.016.738	28.277.495	36.252	692.041
außerorts ohne Autobahn	43.313	19.629.597	1.871.171	1.512.342	21.712.844	32.996	1.008.657
innerorts	55.765	16.232.068	1.635.087	7.770.182	42.455.156	28.303	625.795
Summe Niedersachsen	100.880	60.906.811	5.334.961	10.299.262	92.445.495	97.551	2.326.492

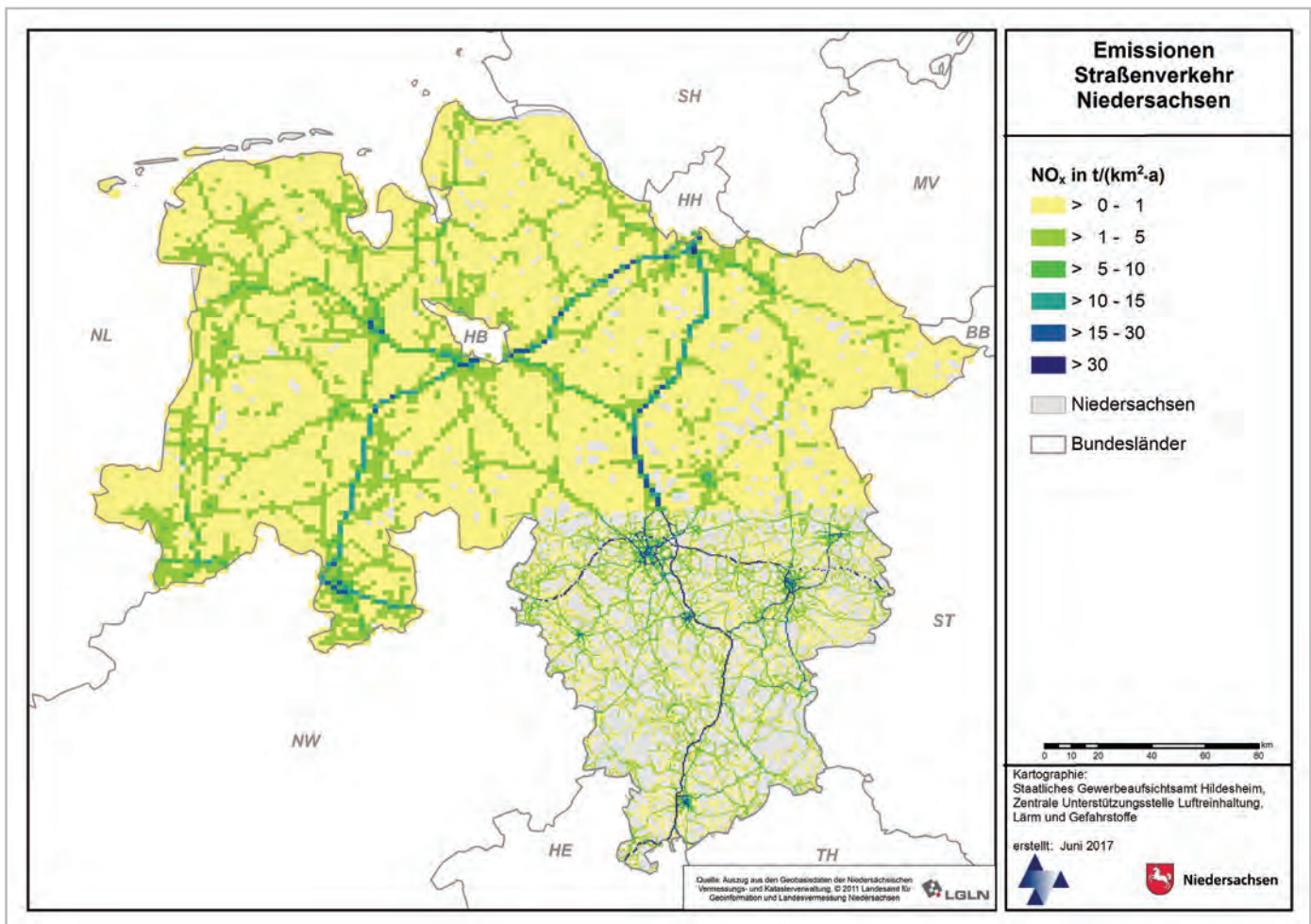


Abbildung 14: NO_x-Emissionen Straßenverkehr

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Straßenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

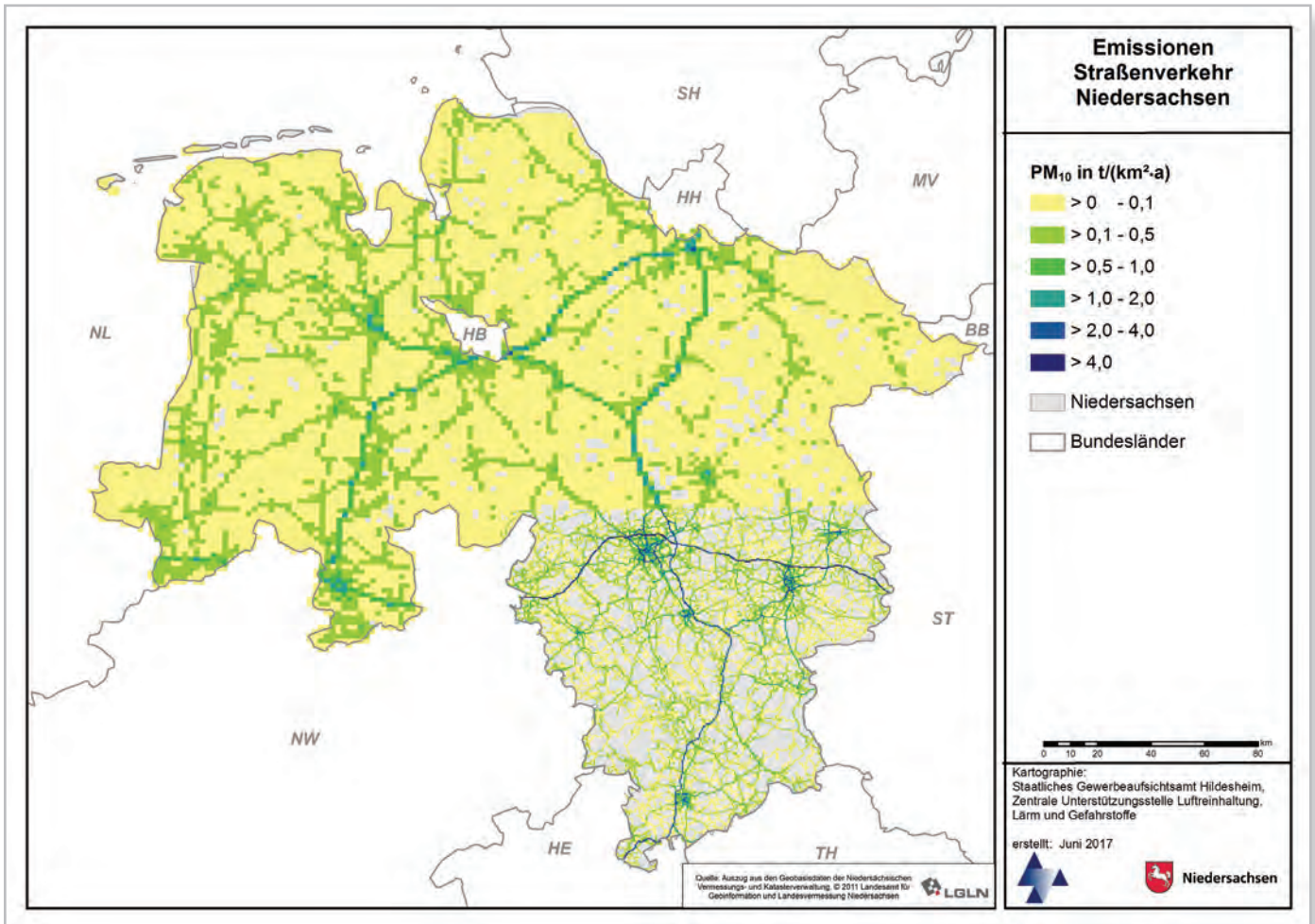


Abbildung 15: PM₁₀-Emissionen Straßenverkehr

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Straßenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

5.5.2 Schienenverkehr

Ein großer Teil des Verkehrs auf der Schiene, vor allem des Personenverkehrs, ist elektrifiziert. Hierbei fallen Luftschadstoffemissionen zur Stromerzeugung an – falls der Strom nicht aus regenerativen Energiequellen gewonnen wurde – die allerdings an anderer Stelle entstehen. Anders verhält es sich beim Güterverkehr auf der Schiene. Zumeist werden dieselbetriebene Lokomotiven verwendet. Es kommt mithin zu den verbrennungsmotortypischen Emissionen. Das Schema zur Ermittlung der Emissionen des Schienenverkehrs ist in Abbildung 16 dargestellt.

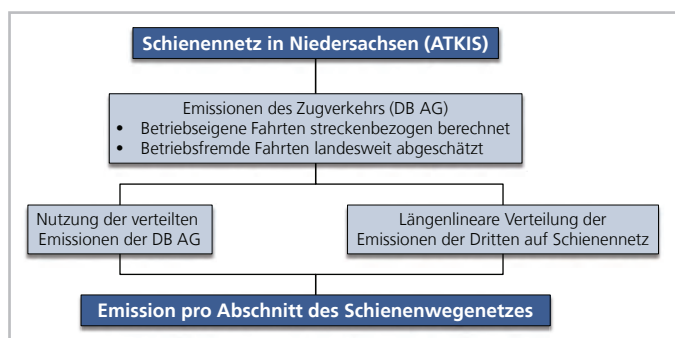


Abbildung 16: Schema Schienenverkehr

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen des Schienenverkehrs aus der im Text beschriebenen Vorgehensweise

Bei beiden Antriebsarten werden zusätzlich Staubemissionen durch Abrieb verursacht. Dieser entsteht bei den elektrifizierten Zügen an den Oberleitungen sowie dem Strom-

abnehmer und bei beiden Antriebsarten an der Schiene, dem Laufrad und vor allem den Bremsen [32]. Die Abriebemissionen können einen Anteil von bis zu 95 % der gesamten PM₁₀-Emission des Schienenverkehrs ausmachen und sind daher von erheblicher Bedeutung.

Das Umweltzentrum der Deutsche Bahn AG (DB AG) hält ein Emissionskataster für den Schienenverkehr vor. Aus diesem können die Daten der durch die betriebseigenen Fahrten verursachten Emissionen für die Schadstoffe Dieselruß, NO_x, C_nH_m, CO, und SO₂ entnommen werden (Tabelle 10). Die Dieselpartikelemissionen werden dabei vollständig dem Feinstaub der Größenklasse PM₁₀ zugeordnet. Die Emissionen basieren auf den Fahrplandaten des Bezugsjahres 2012 und wurden streckenbezogen mit dem Schienennetz der DB AG aufbereitet.

Emissionen, die durch nicht-DB AG-eigene Eisenbahnverkehrsunternehmen, sogenannten Dritten, auf den Trassen der DB Netz AG verursacht werden, wurden vom Umweltzentrum der DB AG abgeschätzt. Die Abschätzung beinhaltet ausschließlich verbrennungsbedingte Emissionen und liefert keine streckenbezogenen Daten. Die Verteilung der Emissionen der Fremdfirmen erfolgte längenlinear auf alle gemäß Eisenbahn-Bundesamt (EBA) aktiven Bahnstrecken im vorliegenden Schienennetz in Niedersachsen [33].

Die Emissionen der DB-eigenen Eisenbahnverkehrsunternehmen und der Dritten wurden auf dem vorliegenden Schienennetz zusammengeführt und lagebezogen auf das vorgegebene geographische Raster verteilt (Abbildung 17 und Abbildung 18). Die verbrennungsbezogenen Emissionen der Dritten liegen in etwa in der Größenordnung der DB-eigenen Emissionen.

Tabelle 10: Emissionen des Schienenverkehrs

Aus dem Emissionskataster der DB AG und der im Text beschriebenen Vorgehensweise ermittelte motorbedingte und durch Abrieb entstandene Emissionen der Luftschadstoffe NO_x, PM₁₀, C_nH_m, CO und SO₂ des Schienenverkehrs für das Jahr 2012 auf Strecken in Niedersachsen

Verursacher		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
DB	Verbrennung Diesel	703.066	18.420	41.933	118.747	327
	Abrieb Fahrdradt	n.e.	8.483	n.e.	n.e.	n.e.
	Abrieb Bremse Grauguss-Sohle	n.e.	250.382	n.e.	n.e.	n.e.
	Abrieb Bremse Komposit-Sohle	n.e.	11.056	n.e.	n.e.	n.e.
	Abrieb Scheibenbremse	n.e.	11.982	n.e.	n.e.	n.e.
	Abrieb Schiene	n.e.	408.961	n.e.	n.e.	n.e.
	Abrieb Rad	n.e.	184.714	n.e.	n.e.	n.e.
	Abrieb Stromabnehmer	n.e.	514	n.e.	n.e.	n.e.
Dritte	Verbrennung Diesel	590.070	17.968	34.921	108.692	378
Summe Niedersachsen		1.293.136	912.480	76.854	227.439	705

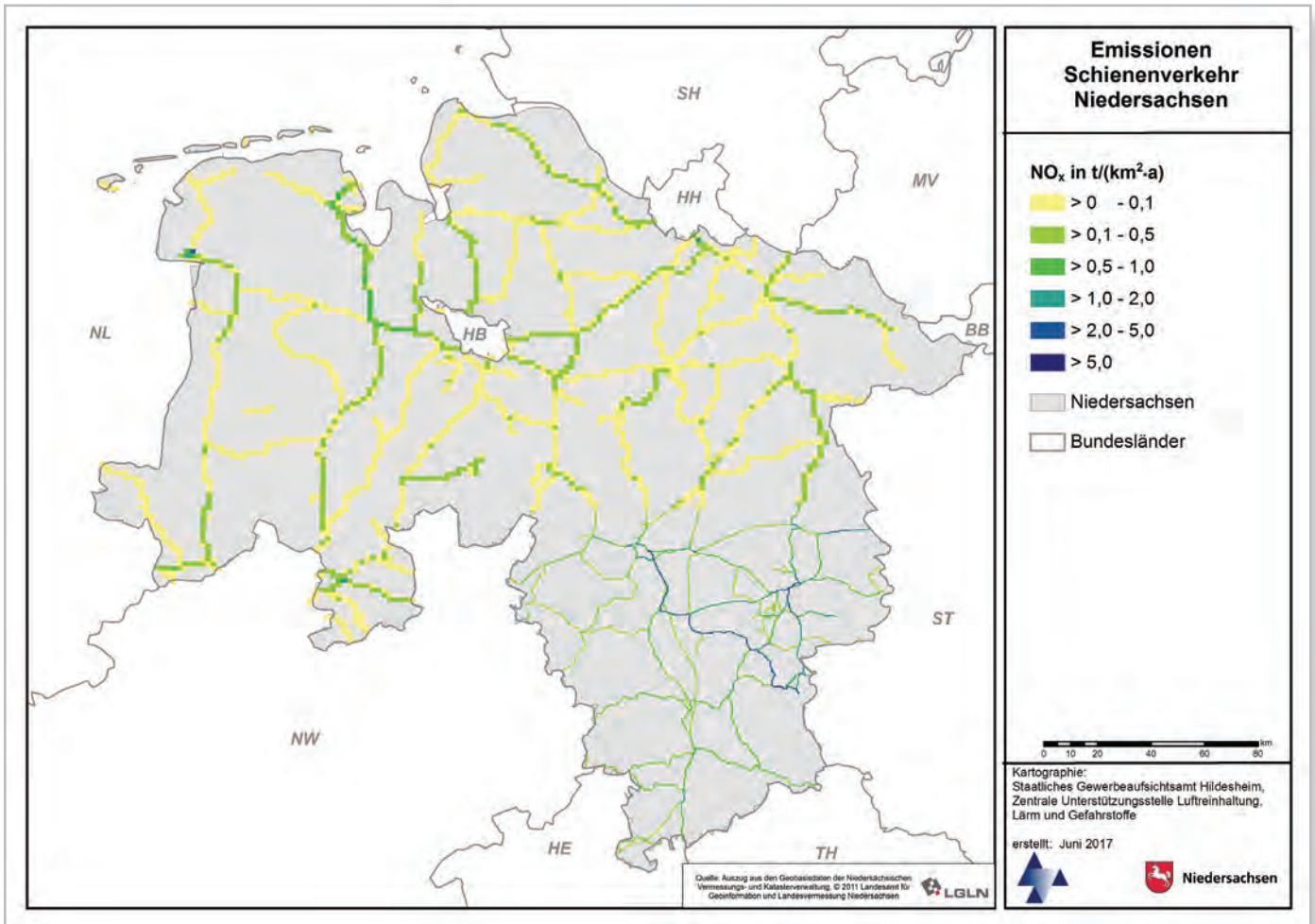


Abbildung 17: NO_x-Emissionen Schienenverkehr

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Schienenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

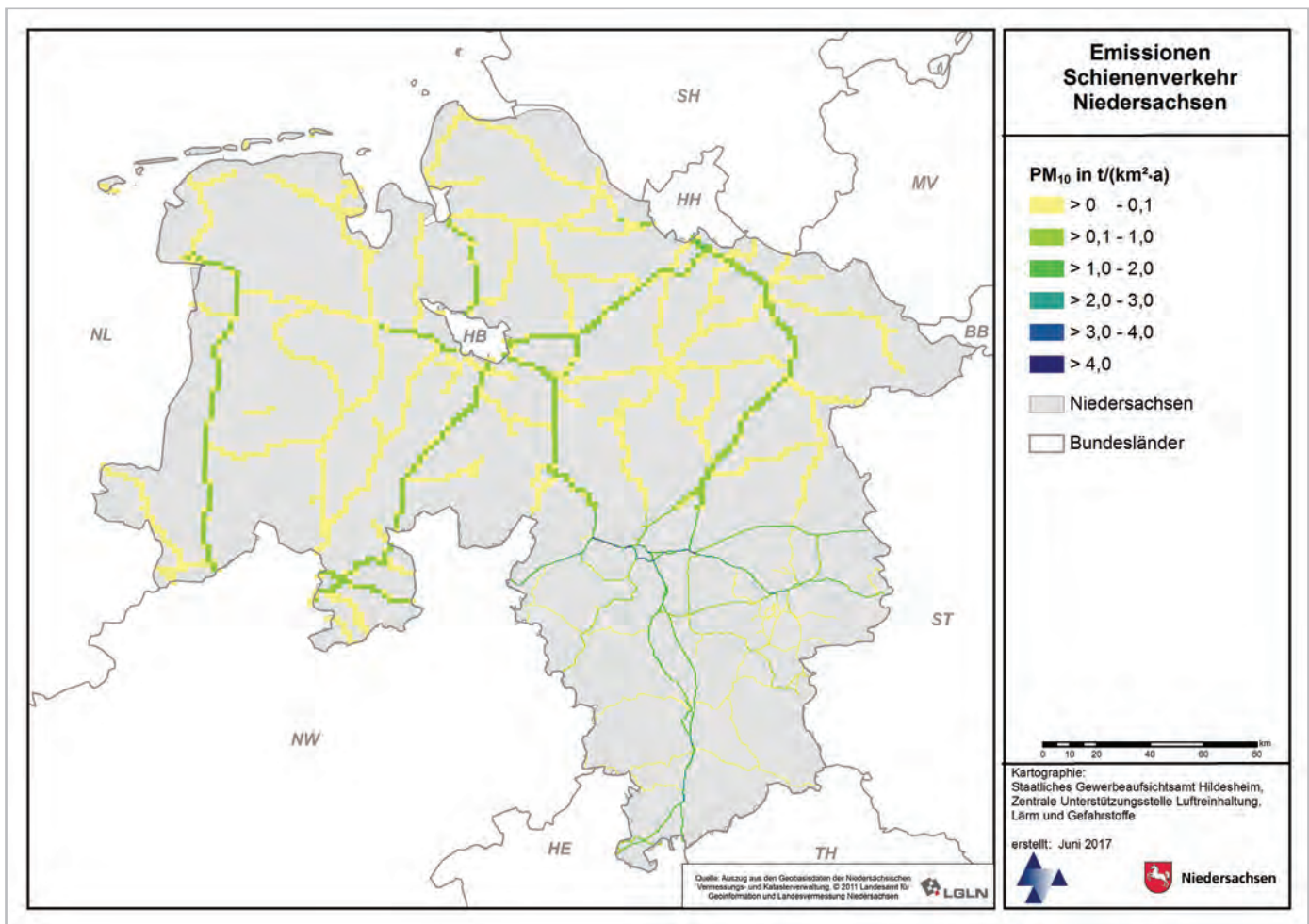


Abbildung 18: PM₁₀-Emissionen Schienenverkehr

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Schienenverkehr in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen



5.5.3 Schifffahrt

Die Schifffahrt nimmt in Niedersachsen aufgrund seiner Lage als Nordseeanrainer eine wichtige Rolle ein. Die Inbetriebnahme des Jade-Weser-Ports bei Wilhelmshaven als Tiefseehafen im Jahr 2012 kann zusätzlich zukünftig zu einem vermehrten Seeschiffsverkehr in diesem Bereich führen. Aber auch die Binnenschifffahrt erreicht regional eine wichtige wirtschaftliche Bedeutung. Hinzu kommt der Fährverkehr zu und von den ostfriesischen Inseln und Fährverbindungen über die Elbe und an anderen Flüssen (Abbildung 20).

Die Emissionen der Schifffahrt wurden getrennt für die Binnenschifffahrt und den Seeverkehr ermittelt. Die Aktivitätsrate wird hierfür aus der Beförderungsleistung (auch tonnenkilometrische Leistung in tkm) der Schifffahrt bestimmt. Die beförderungsleistungsbezogenen Emissionsfaktoren wurden aus Messungen an verschiedenen Schiffstypen ermittelt [34]. Das Produkt aus der zurückgelegten Transportweite und der transportierten Güter-

menge entspricht somit der Beförderungsleistung. Eine Übersicht der gewählten Vorgehensweise zur Bestimmung der Emissionen der Schifffahrt ist in Abbildung 19 dargestellt.

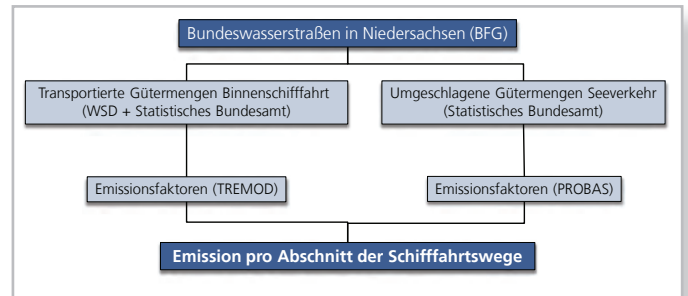


Abbildung 19: Schema Schifffahrt

Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen der Schifffahrt aus der im Text beschriebenen Vorgehensweise

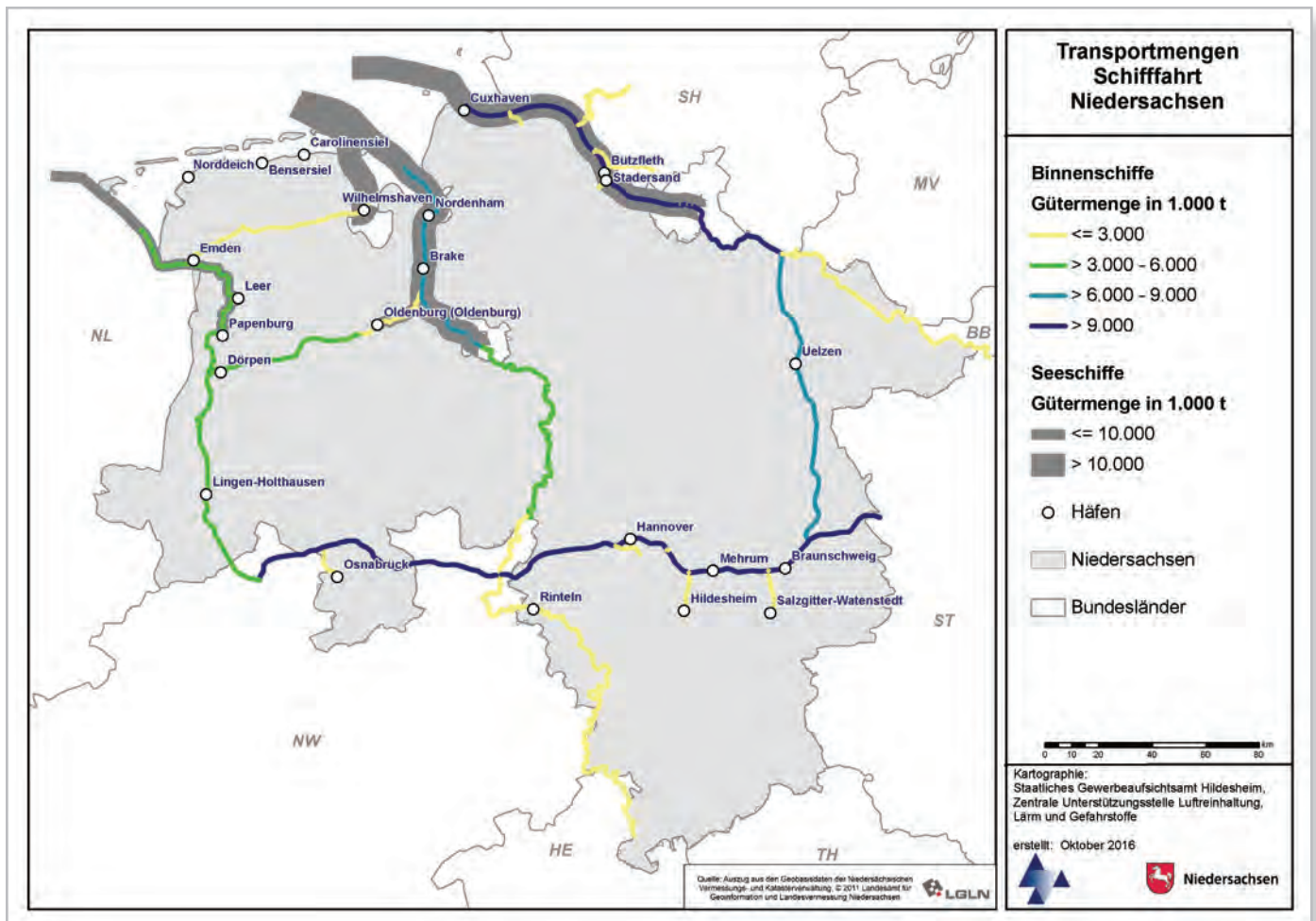


Abbildung 20: Transportierte Gütermengen Schiffsverkehr

Darstellung der transportierten Gütermengen der Binnenschifffahrt und des Seeverkehrs in 10^3 t/a sowie der Häfen in Niedersachsen mit relevanten Umschlagsmengen

Die transportierten Gütermengen der Binnenschifffahrt wurden zunächst auf der Basis der Angaben der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Außenstelle Mitte, Ost und West für das Jahr 2012 [35–37] auf dem bundesweit einheitlich abgestimmten Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen [38] verteilt. Fehlende Angaben zur transportierten Gütermenge in den Gebieten Unterelbe, Unterweser, Dortmund-Ems-Kanal bis Seegrenze und Jadegebiet wurden für das Bezugsjahr 2012 aus der Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt des Statistischen Bundesamtes [39] ergänzt. Die Ansätze zum Güterumschlag des Seeverkehrs in Binnenhäfen entstammen ebenfalls Angaben des Statistischen Bundesamtes [40].

Aufgrund fehlender Daten bleiben bei der Ermittlung der Schifffahrtsemissionen Inselversorgungslinien (Fähren) sowie Fährverbindungen auf Flüssen (z. B. Elbe) unberücksichtigt. Schifffahrtsemissionen während der Liege- oder Verladezeit in den (See- und Binnen-) Häfen wurden ebenfalls aufgrund der nicht vorhandenen Datengrundlage vernachlässigt.

Bei der Binnenschifffahrt sind die Emissionen von verschiedenen variablen Faktoren abhängig:

- Größe, Auslastung und Gesamtgewicht des Schiffes;
- Berg-, Tal- oder Kanalfahrt;
- Breite und Tiefe der Wasserstraße.

Es liegt keine detaillierte Aufstellung zu der tatsächlichen Binnenschiffflotte sowie den Verkehrsströmen auf den niedersächsischen Wasserstraßen vor. Daher wurden zusammen mit den bekannten transportierten Gesamtgütermengen allgemeine Emissionsfaktoren verwendet, die auf einem durchschnittlichen Diesel-Verbrauchswert einer deutschen Durchschnittsflotte basieren. Die Emissionsfaktoren wurden aus dem Projekt TREMOD 5 [41] für das Bezugsjahr 2010 ermittelt (Tabelle 11).

Für den Schadstoff SO₂ existiert kein direkter Emissionsfaktor für die transportierten Gütermengen der Schifffahrt. Daher wurde aus dem bekannten SO₂-Emissionsfaktor zum Energieverbrauch von Binnenschiffen (0,34 ; [42]) zusammen mit dem spezifischen Dieserverbrauch von Binnenschiffmotoren (200 ; [42]) und dem durchschnittlichen Dieserverbrauch pro tonnenkilometrischer Leistung (9,5 ; [43]) ein Emissionsfaktor abgeleitet. Seit dem Jahr 2011 ist in der Binnenschifffahrt die Verwendung von schwefelfreiem Kraftstoff nach der 10. BImSchV [44] vorgeschrieben. Aufgrund der geänderten gesetzlichen Regelung des Schwefelanteils im Kraftstoff (Reduzierung von 0,1 % auf 0,001 % Schwefelanteil im Dieseltreibstoff) wird der sich geänderte Emissionsfaktor für SO₂ aus dem vorgegebenen Schwefelanteil und den Verbrauchs- und Energieangaben von Binnenschiffen [43] ermittelt (Formel (2)).

$$\begin{aligned}
 \text{E-Faktor}_{\text{SO}_2, \text{neu}} &= \frac{\text{E-Faktor}_{\text{SO}_2, \text{alt}} \cdot \text{Korrekturfaktor}}{\text{Verbrauch pro kWh}} \cdot \text{Verbrauch pro tkm} \\
 \text{E-Faktor}_{\text{SO}_2, \text{neu}} &= \frac{0,34 \frac{\text{g}_{\text{SO}_2}}{\text{kWh}} \cdot 0,01}{200 \frac{\text{g}_{\text{Diesel}}}{\text{kWh}}} \cdot 9,5 \frac{\text{g}_{\text{Diesel}}}{\text{tkm}} = 0,0001615 \text{g}_{\text{SO}_2} / \text{tkm}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Tabelle 11: Emissionsfaktoren Schifffahrt

Aus TREMOD 5 und PROBAS ermittelte Emissionsfaktoren bezogen auf die Emissionen pro transportierter Masse bei Binnen- und Seeschiffen für verschiedene Luftschadstoffe

	NO _x in mg/(t*km)	Staub in mg/(t*km)	NMVOC in mg/(t*km)	CH ₄ in mg/(t*km)	CO in mg/(t*km)	CO ₂ in mg/(t*km)	N ₂ O in mg/(t*km)	SO ₂ in mg/(t*km)
Binnenschiff	536	17,1	39,4	0,969	96,9	27.900	0,409	0,162
Seeschiff	263	23,3	0,983	0,833	50,0	10.400	0,050	65,0



Für Seeschiffe wurden mittlere Emissionsfaktoren für Überseeschiffe (Container, mittel) für das Bezugsjahr 2010 [34] der PROBAS-Datenbank [43] verwendet. Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren wurde ein Kraftstoff mit 2 % Schwefelgehalt zugrunde gelegt. Nord- und Ostsee sind mittlerweile jedoch Emissionskontrollgebiete und dürfen seit 2010 nur noch von Schiffen befahren werden, die mit Kraftstoffen mit einem maximalen Schwefelanteil von 1 % betrieben werden. Daher wurde in dieser Betrachtung der SO₂-Emissionsfaktor für die Seeschifffahrt um 50 % vermindert.

Eine Übersicht über die jährlich emittierten Massen von Luftschadstoffen durch die Schifffahrt ist in Tabelle 12 für die niedersächsischen Schifffahrtswege gezeigt.

Für jede Linie des Verkehrsnetzes der niedersächsischen Bundeswasserstraßen wurde aus den Angaben zur transportierten Gütermenge und zur Länge des Transportweges unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt und des Seeverkehrs die mittlere Jahresemission ermittelt. In einem anschließenden Arbeitsschritt wurden die Emissionen lagebezogen auf das vorgegebene geographische Raster verteilt. Die Ergebnisse dieser Verteilung sind für NO_x in Abbildung 21 und für PM₁₀ in Abbildung 22 dargestellt.

Tabelle 12: Emissionen Schifffahrt

Mit den Emissionsfaktoren aus TREMOD und anhand der im Text beschriebenen Vorgehensweise ermittelte Emissionen der Schifffahrt auf den Schifffahrtswegen in Niedersachsen, unterteilt in See- und Binnenschifffahrt

Schifffahrtsweg		NO _x in kg/a	PM ₁₀ in kg/a	HC 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

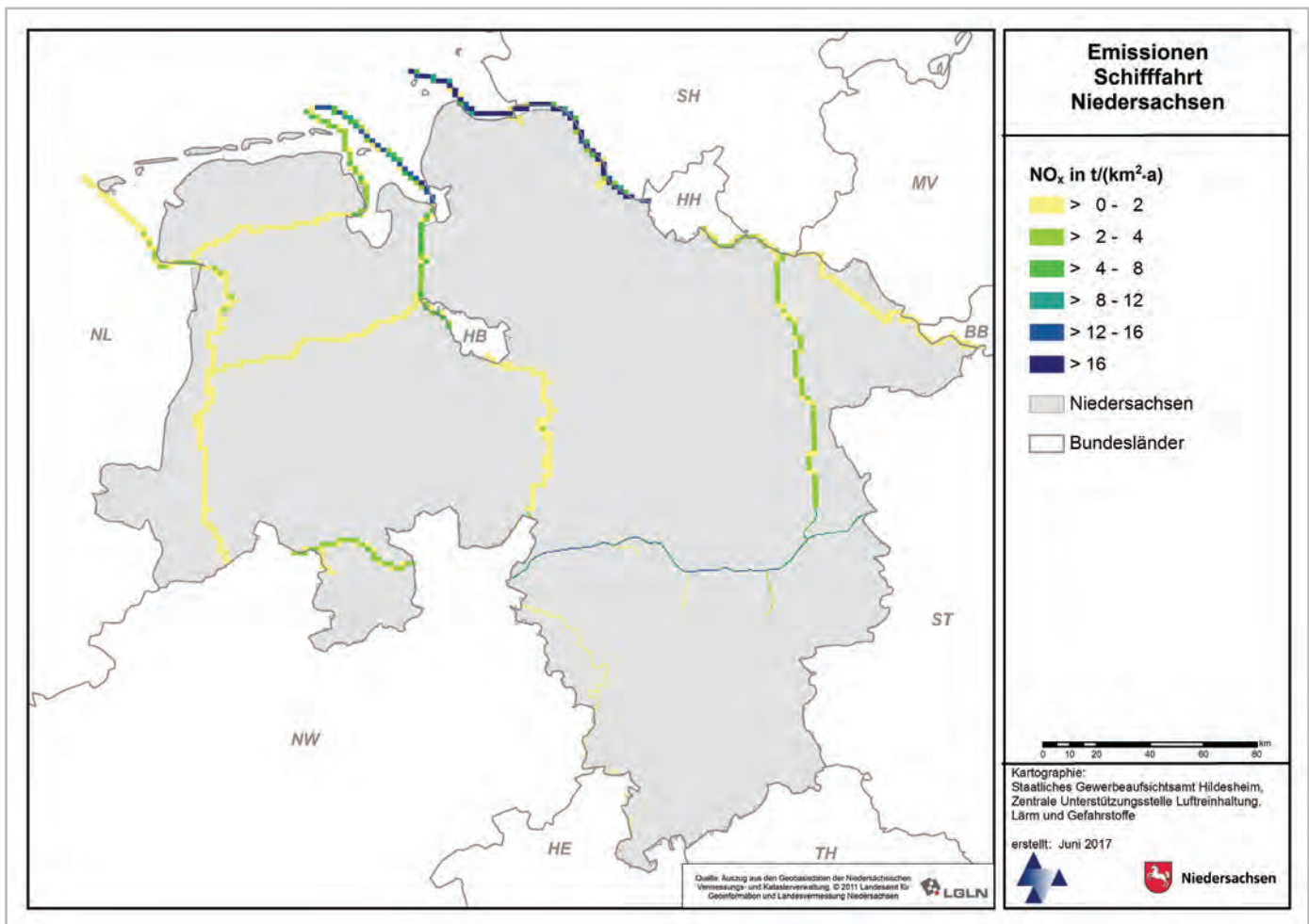


Abbildung 21: NO_x-Emissionen Schifffahrt

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch die Schifffahrt in t/(km²·a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

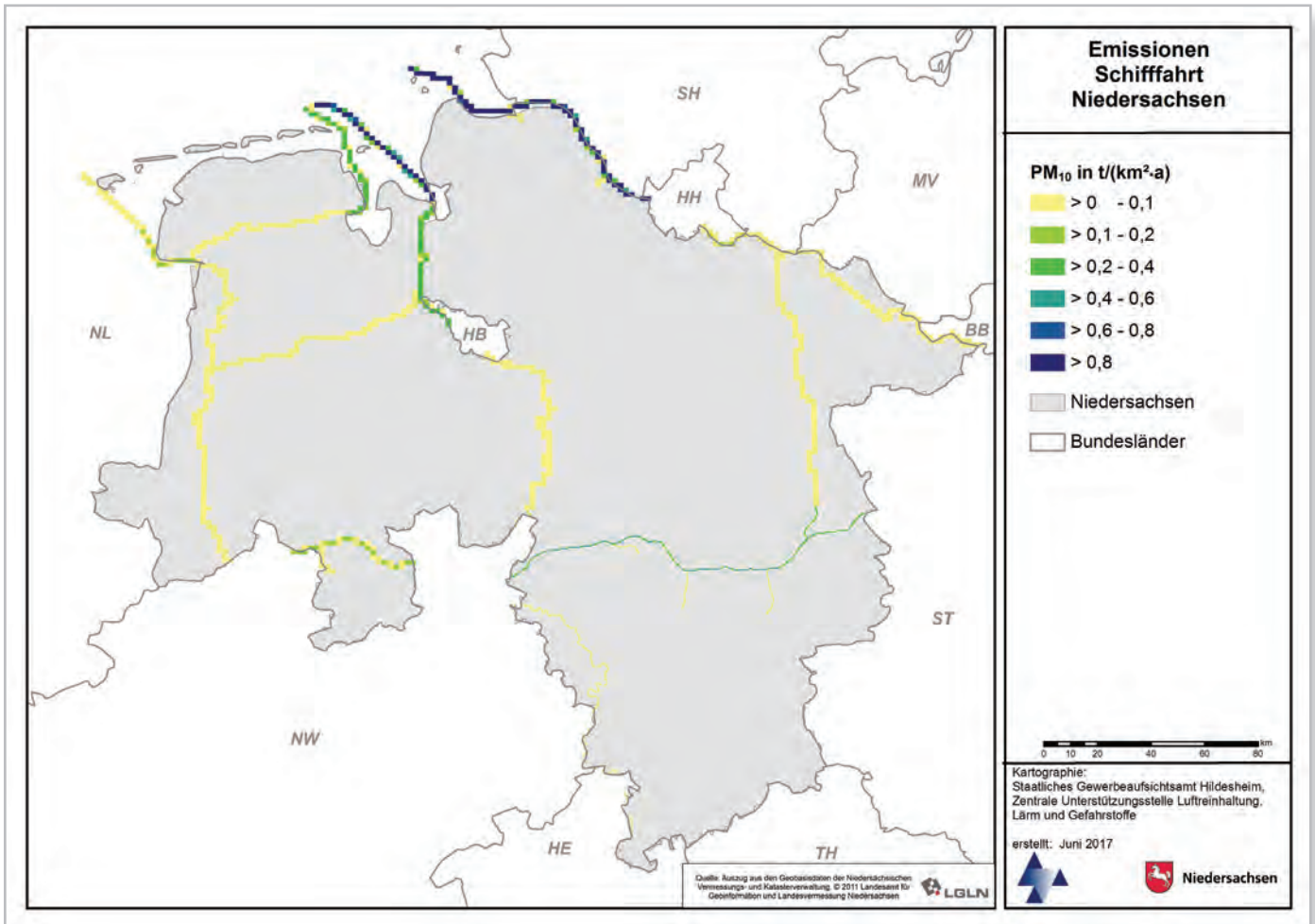


Abbildung 22: PM₁₀-Emissionen Schifffahrt

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch die Schifffahrt in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

5.5.4 Offroadverkehr

Beim Offroadverkehr handelt es sich um alle mobilen Maschinen und Fahrzeuge, die nicht oder nur in einem vernachlässigbarem 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.) und 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 die Emissionen des Offroadverkehrs lässt sich folglich der bottom-up-Ansatz nur in Teilen umsetzen. Dafür stehen Zulassungszahlen für landwirtschaftliche Zugmaschinen des Kraftfahrtbundesamts [45] sowie des Statistischen Bundesamts für den Stichtag 31.12.2014 [46] zur Verfügung. Aufgrund dieser Datenlage können für das HErmElIN-Projekt in diesem Fall die Emissionen des Offroadverkehrs lediglich aus den landwirtschaftlich genutzten Zugmaschinen ermittelt werden. Die nach dem in Abbildung 23 dargestellten Schema ermittelten Emissionen werden auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen in Niedersachsen verteilt.

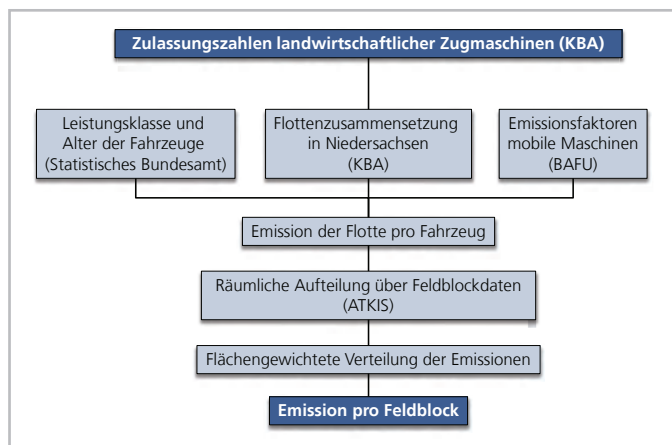


Abbildung 23: Schema Offroadverkehr
Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Berechnung der Emissionen des Offroadverkehrs aus der im Text beschriebenen Vorgehensweise für landwirtschaftliche Zugmaschinen

Die vorliegenden Zahlen gliedern sich auf in deutschlandweite Zulassungsdaten zur Leistungsklasse sowie zum Zulassungsjahr des jeweiligen Fahrzeugs und in landkreisgenaue Zulassungsdaten für alle niedersächsischen Landkreise und kreisfreien Städte. Die bundesweite Fahrzeugzusammensetzung bezüglich Leistungsklasse und Alter der Fahrzeuge wird wegen des Fehlens anderer verfügbarer und verwertbarer Daten analog auf Niedersachsen übertragen.

Aus den vorliegenden Zahlen ergibt sich die in Tabelle 13 dargestellte Verteilung der Leistungsklassen der landwirtschaftlichen Zugmaschinen für Niedersachsen. Der generelle Trend geht auch in der Landwirtschaft zu leistungstärkeren Motoren. Der größte Anteil der landwirtschaftlichen Zugmaschinen liegt jedoch noch in einem mittleren Leistungsbereich zwischen 37 und 130 kW.

Tabelle 13: Leistungsklassen und Durchschnittsalter landwirtschaftlicher Zugmaschinen

Aus Bestandsdaten des KBA ermittelte Anteile der Leistungsklassen am Gesamtbestand und des Durchschnittsalters landwirtschaftlicher Zugmaschinen in Niedersachsen für das Bezugsjahr 2014

Leistungsklasse	Anteil der Klasse in Niedersachsen in %	Durchschnittsalter der Klasse in Jahren
< 18 kW	8	43
18 - 37 kW	19	34
37 - 75 kW	46	25
75 - 130 kW	21	16
130 - 300 kW	6	7

Es existieren Vorgaben zu den maximalen Emissionen von sogenannten mobilen Maschinen (NRMM = Non Road Mobile Machinery). Diese Vorgaben wurden erstmals 1997 auf europäischer Ebene [47] benannt. In den folgenden Jahren wurde in mehreren Schritten auf niedrigere Maximalwerte reduziert. Die Grenzwerte sind für unterschiedliche Motorleistungsklassen unterschiedlich hoch. Somit existiert im tatsächlichen Fahrzeugbestand eine Mischung aus Fahrzeugen mit unterschiedlichen maximalen Emissionsmengen in Abhängigkeit der Leistungsklasse und des Baujahrs. Um diese Heterogenität möglichst sachgerecht abbilden zu können, wird davon ausgegangen, dass in dem auf eine Einführung einer neuen Emissionsstufe folgenden Jahr alle neu zugelassenen Fahrzeuge diese Emissionsbegrenzung laut Typprüfung erfüllen und den Bestand ergänzen.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen, ähnlich wie bei den Emissionsfaktoren des HBEFA, nicht den gesetzlich vorgegebenen Emissionsgrenzwerten der jeweiligen Leistungsklasse. Die Emissionsfaktoren werden Untersuchungen und Messungen des Bundesamts für Umwelt der Schweiz (BAFU) entnommen [48,49]. Dort werden für landwirtschaftliche Fahrzeuge Emissionsfaktoren in Abhängigkeit der Leistungsklasse und der Emissionsklasse laut Richtlinie in Bezug auf den Realverbrauch abgeleitet. Des Weiteren finden sich dort Angaben zu den durchschnittlichen jährlichen Betriebsstunden der unterschiedenen Fahrzeuggruppen. Als Ergebnis steht die mittlere Emission von Schadstoffen als Masse pro Jahr und pro Fahrzeug (Tabelle 14).

Aus der vorhandenen jährlichen Zusammensetzung der Fahrzeugflotte der landwirtschaftlichen Zugmaschinen nach Leistungsklasse und Alter der Fahrzeuge kann so eine Zuteilung der Gesamtemissionen nach den Zulassungszahlen für jeden Landkreis vorgenommen werden.

**Tabelle 14: Emissionsfaktoren Offroadverkehr**

Auf Grundlage der Zahlen zum niedersächsischen Bestand an landwirtschaftlichen Zugmaschinen ermittelte mittlere Emissionsfaktoren für NO_x , PM_{10} , C_nH_m und CO für den Offroadverkehr landwirtschaftlicher Zugmaschinen für das Bezugsjahr 2014

	NO_x in kg/(Fz*a)	PM_{10} in kg/(Fz*a)	C_nH_m in kg/(Fz*a)	CO in kg/(Fz*a)
mittlere Emission	22,9461	1,4239	2,2863	11,1969

Für die Verteilung der Emissionen wurde zunächst auf Felddaten für Niedersachsen (ATKIS) zurückgegriffen. Ein Feldblock beschreibt eine zusammenhängende und abgrenzbare landwirtschaftliche Nutzfläche. Die Felddaten liegen für Niedersachsen vollständig vor und werden für die Berechnung der Emissionen durch den Offroadverkehr mit den Kategorien Ackerland, Grünland und Mischbestände verwendet. Weitere Felddatenkategorien, wie Sonderkulturen o. ä. werden nicht betrachtet. Es werden zunächst die Flächenanteile in den Landkreisen bezüglich der drei benannten Kategorien ausgewertet und in die Berechnung der Emissionen eingebunden. Auf Grundlage verschiedener Untersuchungen [50–52] ist davon auszugehen, dass es bei der Bewirtschaftung von Ackerland durch das Befahren und Bearbeiten der Flächen zu dreimal höheren Emissionen kommt als bei der Grünlandbewirtschaftung. Auf Basis dieser Beziehung wird die zuvor berechnete Emission pro Fahrzeug gemäß Tabelle 15 mit dem jeweiligen Faktor multipliziert und für jeden Landkreis übernommen.

Tabelle 15: Faktoren Bearbeitungsaufwand / Kraftstoffverbrauch nach Felddatentypen

Anhand von Erfahrungsdaten verwendete Faktoren zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Intensität der Bearbeitung durch landwirtschaftliche Maschinen und damit einem unterschiedlichen Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit zum Felddatentyp.

Felddatentyp	Bearbeitungsfaktor
Ackerland	1,5
Grünland	0,5
Mischbestände	1

Anhand der so vorliegenden landkreisspezifischen und flächengewichteten Emissionen pro Fahrzeug und Jahr ergibt sich zusammen mit der Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge die Gesamtemission des jeweiligen Stoffes in dem jeweiligen Landkreis (Tabelle 16). Für die Übertragung der Daten auf die Fläche werden die felddatentypspezifischen Emissionen auf die entsprechenden Feldblöcke in den Landkreisen flächengewichtet in Abhängigkeit zur Gesamtemission im jeweiligen Landkreis verteilt (Abbildung 24 und Abbildung 25).

Tabelle 16: Emissionen Offroadverkehr

Auswertung der auf Basis der im Text beschriebenen Vorgehensweise ermittelten Emissionen des Offroadverkehrs für NO_x , PM_{10} , C_nH_m und CO für die niedersächsischen Landkreise, kreisfreien Städte sowie die Region Hannover mit LHH

Landkreis / kreisfreie Stadt	NO_x in kg/a	PM_{10} in kg/a	C_nH_m in kg/a	CO in kg/a
Ammerland	89.413	5.548	8.909	43.631
Aurich	115.789	7.185	11.537	56.501
Braunschweig, Stadt	12.279	762	1.223	5.992
Celle	88.303	5.479	8.798	43.089
Cloppenburg	203.084	12.602	20.235	99.098
Cuxhaven	155.564	9.653	15.500	75.910
Delmenhorst, Stadt	4.527	281	451	2.209
Diepholz	200.438	12.438	19.971	97.807
Emden, Stadt	4.907	304	489	2.394
Emsland	347.949	21.591	34.668	169.787
Friesland	40.439	2.509	4.029	19.733
Gifhorn	116.242	7.213	11.582	56.722
Goslar	41.668	2.586	4.152	20.332
Göttingen	111.294	6.906	11.089	54.307
Grafschaft Bentheim	127.855	7.934	12.739	62.389
Hameln-Pyrmont	65.365	4.056	6.513	31.896
Hannover, Region mit LHH	193.346	11.998	19.264	94.346
Harburg	113.338	7.033	11.293	55.305
Heidekreis	107.242	6.655	10.685	52.331
Helmstedt	46.412	2.880	4.624	22.647
Hildesheim	106.479	6.607	10.609	51.958
Holzminden	42.423	2.632	4.227	20.701
Leer	73.469	4.559	7.320	35.850
Lüchow-Dannenberg	76.356	4.738	7.608	37.259
Lüneburg	75.627	4.693	7.535	36.903
Nienburg (Weser)	143.192	8.886	14.267	69.873
Northeim	114.980	7.135	11.456	56.106
Oldenburg (Oldb), Stadt	4.526	281	451	2.209
Oldenburg (Oldenburg)	109.616	6.802	10.922	53.489
Osnabrück	299.166	18.564	29.808	145.983
Osnabrück, Stadt	12.250	760	1.221	5.978
Osterholz	58.677	3.641	5.846	28.632
Osterode am Harz	36.395	2.258	3.626	17.760
Peine	55.850	3.466	5.565	27.253
Rotenburg (Wümme)	197.924	12.282	19.720	96.580
Salzgitter, Stadt	14.585	905	1.453	7.117
Schaumburg	70.438	4.371	7.018	34.371
Stade	147.916	9.179	14.738	72.178
Uelzen	88.195	5.473	8.787	43.036
Vechta	118.722	7.367	11.829	57.932
Verden	77.190	4.790	7.691	37.666
Wesermarsch	39.388	2.444	3.924	19.220
Wilhelmshaven, Stadt	3.516	218	350	1.716
Wittmund	57.630	3.576	5.742	28.122
Wolfenbüttel	52.435	3.254	5.224	25.586
Wolfsburg, Stadt	14.960	928	1.491	7.300
Summe Niedersachsen	4.277.359	265.422	426.179	2.087.204

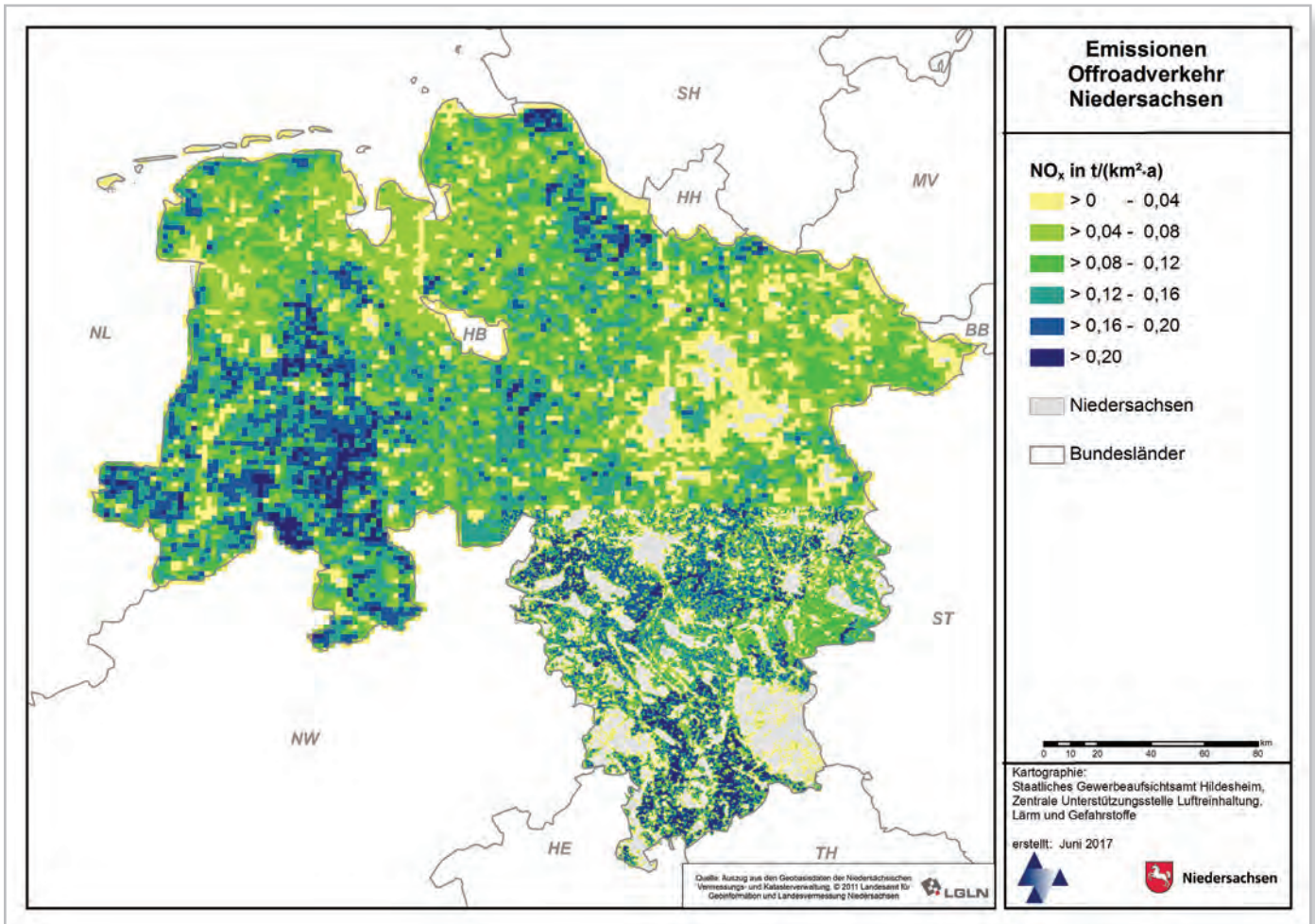


Abbildung 24: NO_x-Emissionen Offroadverkehr

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen durch den Offroadverkehr landwirtschaftlicher Zugmaschinen in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

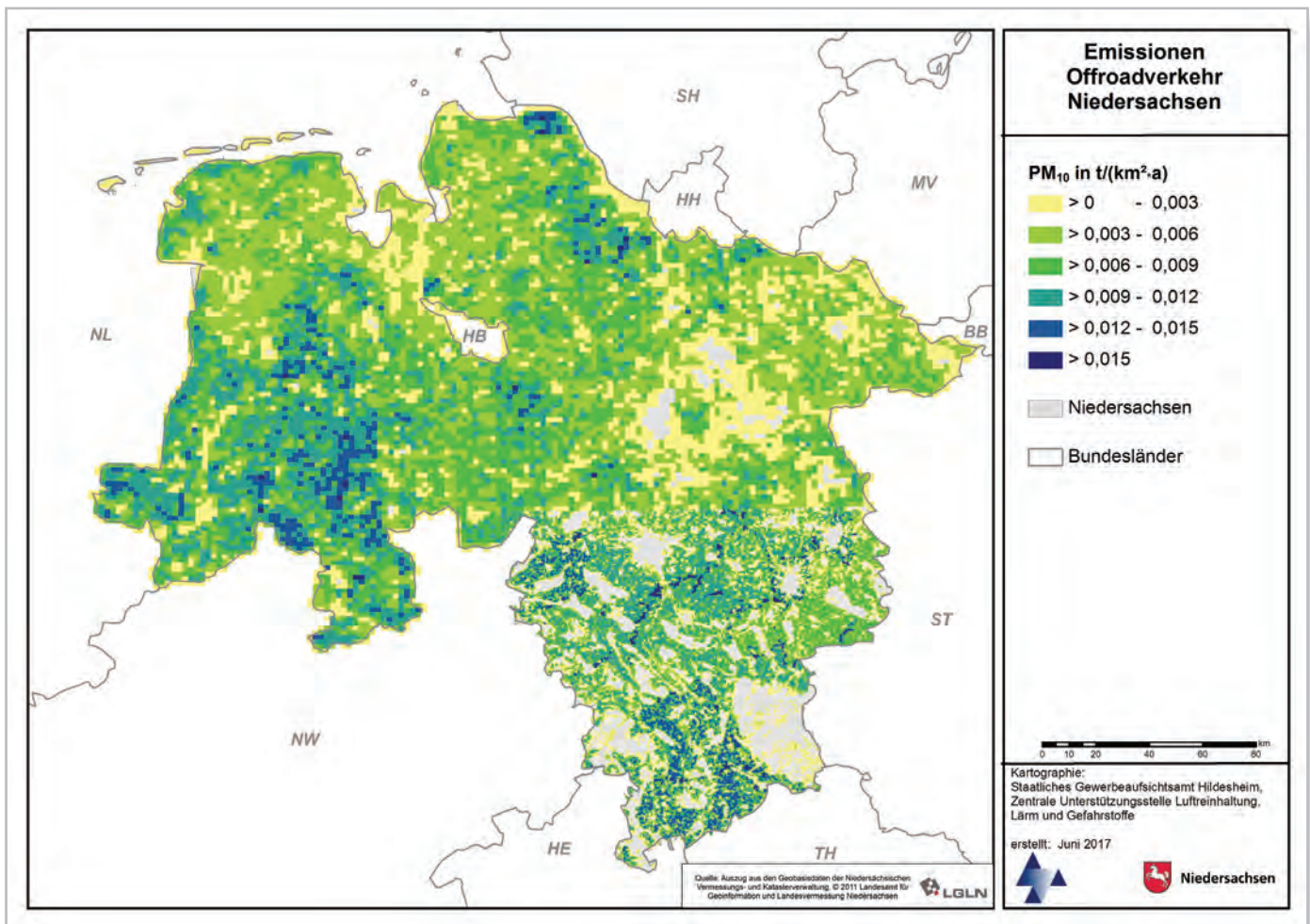


Abbildung 25: PM₁₀-Emissionen Offroadverkehr

Darstellung der mit den beschriebenen Ansätzen ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen durch den Offroadverkehr landwirtschaftlicher Zugmaschinen in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen



5.6 Biogene Quellen

Aus biogenen Quellen werden zum einen gasförmige Stoffe wie Ammoniak (NH_3), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (Lachgas; 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,
- Seesalz,
- (wieder-) aufgewirbeltes Bodenmaterial (organisch und mineralisch),
- biogene flüchtige organische Verbindungen (BVOC) aus Pflanzen, z. B. Terpene, Isopren,
- Abbauprodukte organischen Materials in Böden und natürlichen / naturnahen Gewässern.

Hinzu gezählt werden hier zudem Emissionen aus landwirtschaftlichen Quellen, die nicht aus der Haltung der Tiere im Stall stammen. Dies sind in erster Linie die Emissionen von NH_3 , CH_4 und N_2O aus der Wirtschaftsdüngernutzung. Die Emissionen aus Abbauprozessen anthropogen bedingter organischer Substanzen im Abwasser oder Abfall werden hier nicht als biogene Quellen gewertet, allerdings auch bisher nicht im Rahmen der anthropogenen Quellen erfasst.

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

Einen großen Teil des Feinstaubs aus biogenen Quellen bildet die aus Kohlenstoffverbindungen bestehende organische Fraktion. Bei primär gebildeten Partikeln handelt es sich zum Beispiel um Partikel, die durch Abrieb (Abrasion) von Pflanzenteilen [53] oder durch das Abwehen von Blütenpollen entstehen. Sekundäre Partikel werden unter anderem aus organischen Vorläufersubstanzen in der Atmosphäre gebildet (s. z. B. Abschnitt 4.3.1). An Hintergrundstationen konnten bereits sehr hohe Anteile von Partikeln festgestellt werden (bis zu 50 %, [54]), die auf einen biogenen Ursprung hinweisen.

Von natürlichen Böden aufgewirbelte Partikel werden auch aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung zumeist als Mineralstaub bezeichnet. Zumeist ist es Erdkrustenmaterial, das durch mechanische Bearbeitung in die Atmosphäre gelangt. Der Anteil von solchem Mineralstaub an der gesamten PM_{10} -Konzentration wird über weiten Teilen Europas auf zwischen 10 % bis über 30 % geschätzt. Dies hängt

von der Lage und von der Jahreszeit bzw. der meteorologischen Situation ab [55].

Hiervon chemisch unterscheidbar ist Seesalz, das vor allem in Küstennähe zu einem großen Teil zur Partikelmasse beitragen kann. Durch die Interaktion des Windes mit der Meeresoberfläche wird Seesalz in die Atmosphäre transportiert. Zum einen geschieht dies direkt aus der Gischt, zum anderen indirekt über zerplatzende Wassertröpfchen aus Schaumkämmen [16].

Die Umsetzung der Emissionen der biogenen Quellen im HErmEliN-Projekt erfolgt durch das für die Immissionsberechnung verwendete Rechenmodell [16]. 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.

5.7 Gesamtübersicht der Emissionen

Da das Hauptaugenmerk des Projektes auf den Stoffen NO_x und Feinstaub der Größenklasse PM_{10} lag, wurden bei allen Quellgruppen vorrangig die direkten Emissionen dieser beiden Stoffe ermittelt. Falls gesicherte Emissionsfaktoren vorlagen und die Ermittlung der Emissionen in diesem Detaillierungsgrad (bottom-up-Ansatz) möglich war, wurden weitere Stoffe, die zum Teil auch als Vorläufersubstanzen für sekundäre Schadstoffe dienen, zusätzlich ermittelt. Eine Zusammenfassung der insgesamt im HErmEliN-Projekt ermittelten Emissionen der hier betrachteten Quellgruppen zeigt Tabelle 17.

Wo dies 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 entsprechend einer Vielzahl von Faktoren von den von Deutschland gemeldeten Emissionen

heruntergerechnet (top-down-Ansatz) und verteilt. Die im HErmEliN-Projekt ermittelten Gesamtemissionen sowie die Anteile der Quellgruppen an den Gesamtemissionen von NO_x und PM_{10} sind in Abbildung 26 bis Abbildung 29 dargestellt.

Während der Straßenverkehr lediglich mit etwa 18 % zur Emission von PM_{10} beiträgt, verursacht er die Hälfte der anthropogenen NO_x -Emissionen in Niedersachsen. Der Anteil der Industrie an den PM_{10} -Emissionen liegt bei lediglich etwa 13 %. Dagegen stammen mehr als ein Viertel der NO_x -Emissionen nach den Ergebnissen der Emissionserhebung in Niedersachsen aus der Industrie. Bei PM_{10} dominieren die Emissionen der Landwirtschaft (Tierhaltung, ca. 56 %). Der Hausbrand trägt zu ca. 7 % zu den anthropogenen PM_{10} -Emissionen bei. Beide Quellgruppen haben mit zusammen etwa 8 % eine deutlich untergeordnete Rolle an der Gesamtemission von anthropogenem NO_x .

Tabelle 17: 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 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	51.123.903	*	*	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	62.647.105	172.275.511	9.486.560	174.188.950

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

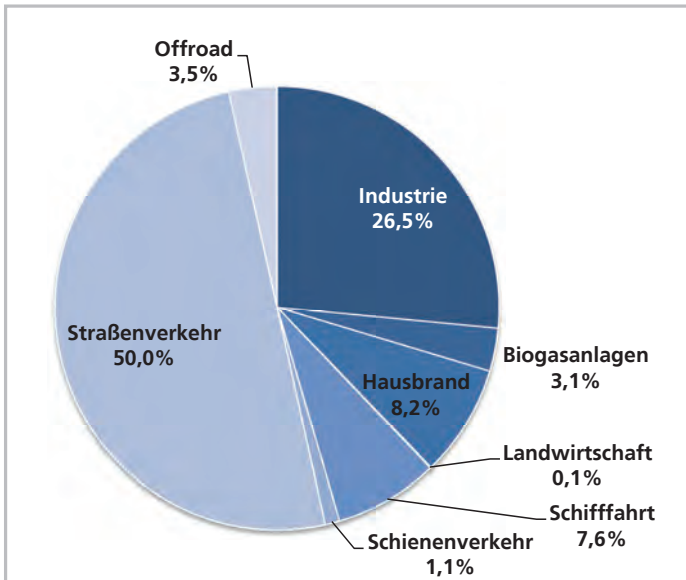


Abbildung 26: Anteile der Quellgruppen an NO_x-Emissionen
 Prozentuale Anteile der im HErmEliN-Projekt betrachteten Quellgruppen Industrie, Biogasanlagen, Hausbrand, Landwirtschaft, Schiffahrt, Schienen-, Straßen- und Offroadverkehr an der Gesamtemission von NO_x in Niedersachsen

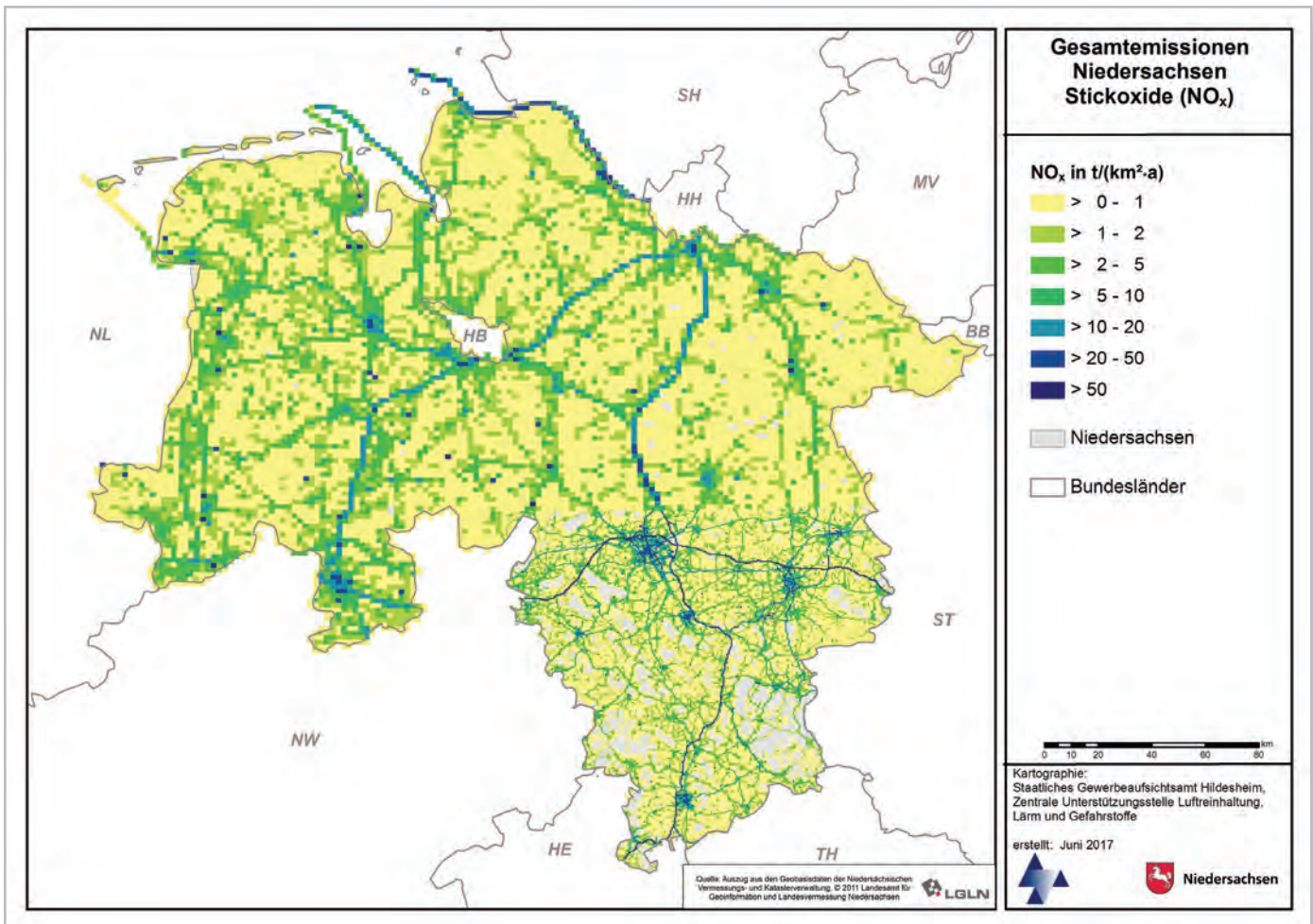


Abbildung 27: Gesamt-NO_x-Emission
 Darstellung der im HErmEliN-Projekt ermittelten Stickoxid (NO_x)-Emissionen aller betrachteten Quellbereiche in t/(km²·a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen

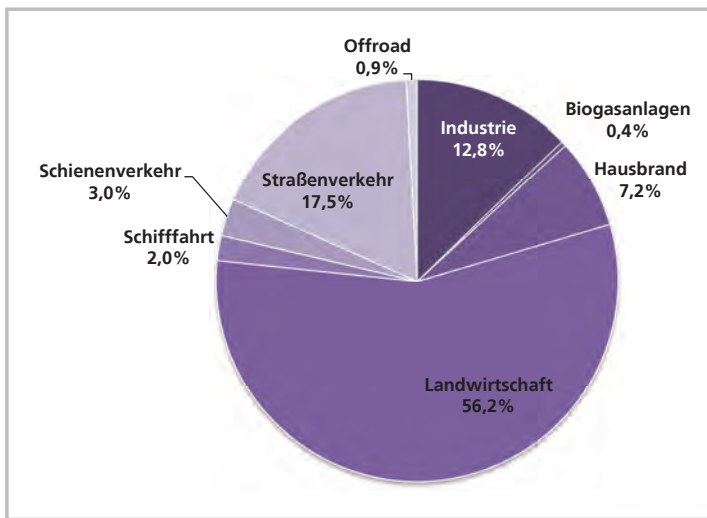


Abbildung 28: Anteile der Quellgruppen an PM₁₀-Emissionen
 Prozentuale Anteile der im H_{ERmE}lIn-Projekt betrachteten Quellgruppen Industrie, Biogasanlagen, Hausbrand, Landwirtschaft, Schifffahrt, Schienen-, Straßen- und Offroadverkehr an der Gesamtemission von PM₁₀ in Niedersachsen

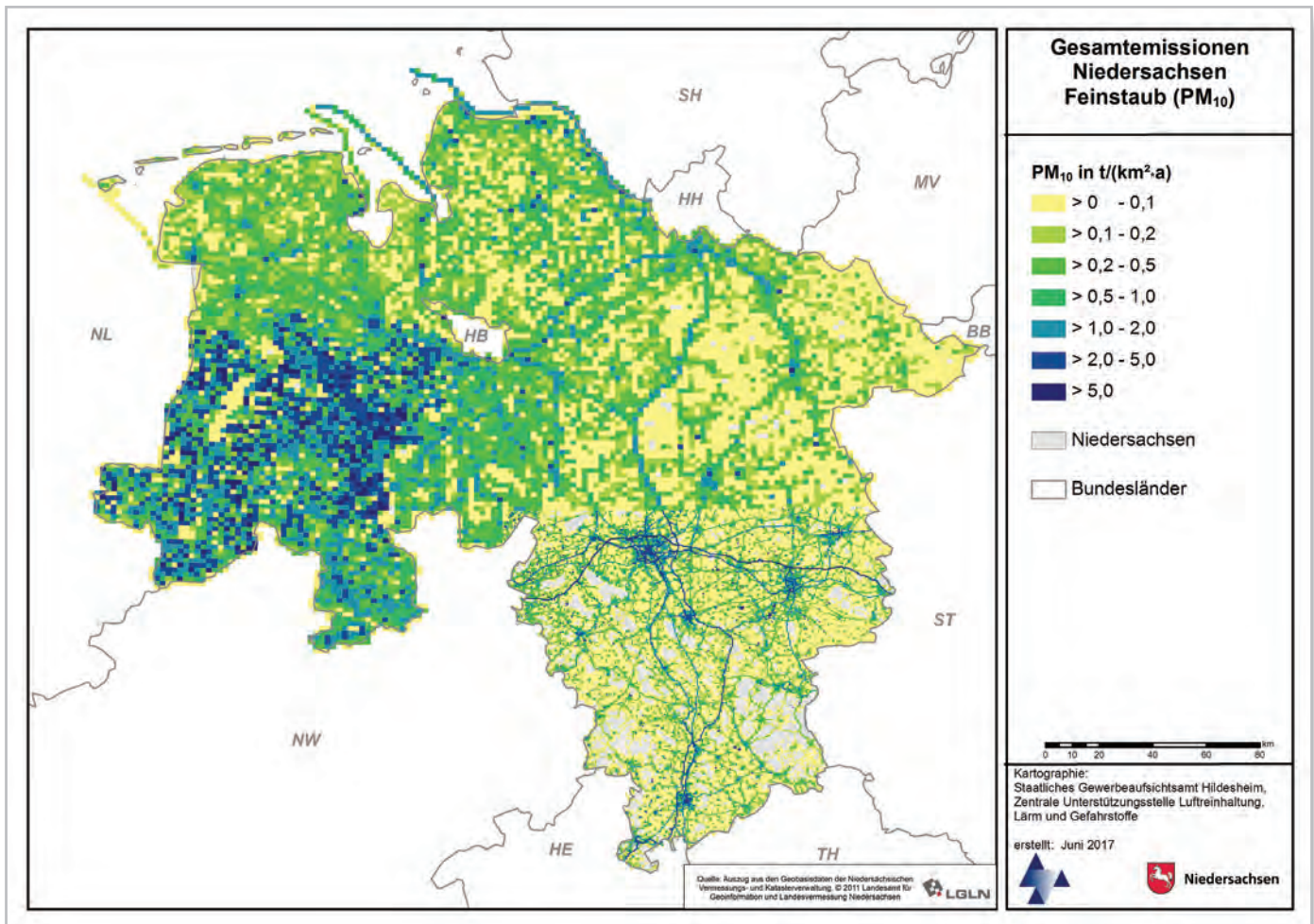


Abbildung 29: Gesamt-PM₁₀-Emissionen

Darstellung der im H_{ERmE}lIn-Projekt ermittelten Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen aller betrachteten Quellbereiche in t/(km²*a) auf den vorgegebenen Rastergitterzellen



6. Unsicherheiten

Die in Abschnitt 5 beschriebenen im HERmEliN-Projekt verwendeten Methoden zur Ermittlung der Luftschadstoffemissionen weisen unterschiedliche Unsicherheiten auf. Die Emissionen werden bestimmt durch eine Aktivitätsrate und einen Emissionsfaktor (Formel (1), Abschnitt 5). 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, Statistiken (Zulassungszahlen, Tierzahlen, Hausbranddaten 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 den Aktivitätsdaten unterschiedlicher Herkunft kann somit zumeist keine sicher quantifizierbare Unsicherheit abgeleitet werden.

Um eine Einschätzung der Qualität der Emissionsfaktoren und der daraus berechneten Emissionen zu treffen, wird hier nach den Vorgaben des Air Pollutant Emission Inventory Guidebook [24] 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 definiert (Tabelle 18). Die Tabelle gibt dabei die maximale Unsicherheit bei den Aktivitätsraten und den Emissionsfaktoren an. Es wird im Folgenden bei allen Quellgruppen jeweils auf die Unsicherheiten der Aktivitätsrate und der Emissionsfaktoren eingegangen.

Zusätzlich dazu wird eine Abschätzung getroffen, wie gut die ermittelten Emissionen räumlich verortet werden können. Die ist beispielsweise bei den Punktquellen der Industrie wesentlich genauer möglich als bei den räumlich relativ unbestimmten Quellen des Offroadverkehrs. Die Genauigkeit in der Positionierung der Quellen kann aber ebenfalls einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung nehmen.

Tabelle 18: Gütestufen und typischer Unsicherheitsbereiche

Aus dem Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 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

6.1 Quellgruppe Industrie

6.1.1 Emissionen von Industrieanlagen

Die Position der Emissionsquellen der Industrie wird durch die BUBE-Datenbank ziemlich exakt erfasst. Eine kleine Unsicherheit ergibt sich allerdings in der effektiven Quellhöhe der Emissionsquellen. Diese wird für die Immissionsberechnung vom Rechenmodell anhand der Bauhöhe des Schornsteins und dem mechanischen und thermischen Impuls der Quelle berechnet. Hier ergibt sich mithin über ein Jahr gesehen eine mittlere Quellhöhe.

Die Emissionen der Industrieanlagen entstammen in erster Linie der BUBE-Datenbank (Abschnitt 5.2.1). Die Anlagenbetreiber sind verpflichtet konkrete Angaben zu den emissionsverursachenden Vorgängen in ihrem Betrieb zu machen. Da demzufolge die Emissionsfrachten bekannt sind, entfällt in diesem Fall eine Berechnung nach Formel (1; Abschnitt 5). Diese Angaben zu den Emissionen von Luftschadstoffen der Quellen der Anlage können dabei jedoch auf Messungen (Gütestufe A), Berechnungen oder Schätzungen (Gütestufe C) beruhen. Eine eindeutige Zuweisung einer Gütestufe ist für die gesamte Quellgruppe somit nicht möglich.

6.1.2 Landwirtschaftliche Großbetriebe

Die landwirtschaftlichen Großbetriebe wurden im Rahmen der Ermittlung der Emissionen der Landwirtschaft mit behandelt. Eine eigene Einstufung der Unsicherheit fällt hiermit aus.

6.1.3 Emissionen von Biogasanlagen

Die genutzten Bestandszahlen der Biogasanlagen entsprechen dem tatsächlichen Bestand in Niedersachsen. Folglich sind auch die Quellen in ihrer räumlichen Lage eindeutig erfasst. Die abgeleiteten Parameter zu Leistung, Wirkungsgrad und Volumenstrom sind aus dem Bestand gemittelte Werte, die im Einzelfall stark von der tatsächlichen Anlage abweichen können. Die Aktivitätsrate, die aus der mittleren jährlichen Leistung der Anlage abgeleitet werden kann, muss hier mit der Gütestufe C bewertet werden.

Die Emissionsfaktoren der einzelnen Luftschadstoffe entstammen unterschiedlichen Quellen (Tabelle 3), die sich aber zumeist auf Messungen an Anlagen zurückführen lassen. Die Gütestufe der Emissionsfaktoren kann mithin ebenfalls als Gütestufe C eingestuft werden (Tabelle 19). Durch die stetige Weiterentwicklung der Motorentechnik, auch im Biogasbereich und der Filtertechnik, ist allerdings davon auszugehen, dass die tatsächlichen Emissionen der BHKW-Module von Biogasanlagen niedriger liegen als hier angenommen.

6.2 Quellgruppe Landwirtschaft

Die räumliche Identifizierung der Quellen der Landwirtschaft wurde auf die Tierhaltungsanlagen beschränkt, da im Rahmen des HErmEliN-Projektes auch nur hierfür die Emissionen ermittelt wurden. Die Ermittlung der Quellen erfolgte gebäudescharf. Durch die zumeist fehlenden Angaben über die tatsächliche Gebäudenutzung wurden auf der Grundlage von Annahmen zur typischen Bauweise Stallanlagen identifiziert. Es ist anzunehmen, dass dies dazu führt, dass mehr Gebäude als Tierhaltungsanlagen klassifiziert werden als es der Realität entspricht. Folglich kommt es zu einer u. U. weiter gestreuten Verteilung der Emissionen, die eigentlich auf weniger Gebäude mit punktuell höherer Emission verteilt sind.

Es werden die von ihrem Anteil an der Tierhaltung in Niedersachsen wichtigsten Tierarten Schweine, Rinder und Geflügel betrachtet. Die Emissionen dieser Tierhaltungen basieren auf den Tierplatzzahlen der TSK, die in diesem Fall die Aktivitätsdaten darstellen. Diese Tierplatzzahlen benennen die zu einem Stichtag gemeldete über ein Jahr gemittelte Anzahl der in einer Stallanlage vorhandenen Tiere. Die realen Belegungszahlen eines Stalls können hiervon teilweise deutlich abweichen, so dass es zu Über- und Unterschätzung der sich tatsächlich über ein Jahr ergebenden mittleren Tierzahlen kommt. Dennoch kann diese Aktivitätsrate der Gütestufe B zugeordnet werden.

Eine Schwierigkeit stellt die Zuordnung der Tierzahlen zu den einzelnen Stallanlagen dar. Zudem werden weitere Quellen, wie die Wirtschaftsdüngerlagerung und –ausbringung nicht separat betrachtet. Die verwendeten Emissionsfaktoren beziehen sich auf Messungen an verschiedenen Tierhaltungsanlagen. Sie differenzieren grob nach verschiedenen Haltungsformen und beinhalten die Wirtschaftsdüngerlagerung im direkten Bereich der Anlage. Sie stellen nach EEA [24] indes die unterste Qualitätsstufe der Emissionsfaktoren dar. Die Emissionsfaktoren sind in Gütestufe B-C einzustufen.



6.3 Quellgruppe Hausbrand

Da in diesem Projekt der Fokus auf der gebäudescharfen Erfassung der Hausbranddaten gelegt wurde, kann die Position der Quellen zusammen mit den Hauskoordinaten der LGLN sehr gut bestimmt werden. Allerdings gibt es auch bei den Hauskoordinaten bereits unterschiedliche Kategorien zur Qualität der Positionierung, die alle in dem verwendeten Datensatz vorkommen. Somit können nicht alle Quellen in ihrer exakten Position wiedergegeben werden.

Eine weitere Unsicherheit liegt im Einsatz des Gebäudedatensatzes in Verbindung mit den Datensätzen zu den Feuerstätten. Hierbei spielt vornehmlich die unterschiedliche Aktualität der Daten eine Rolle. Neu errichtete Gebäude können in dem einen Datensatz fehlen oder abgerissene Gebäude sowie stillgelegte Anlagen im anderen Datensatz noch auftauchen. Dies erschwert die Zuordnung der Emissionsdaten. Hinzu kommt, dass nicht für alle Kehrbezirke die Daten der LIV geliefert werden konnten. In derartigen Fällen wurde aus den landesweit vorhandenen Daten in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung ein Emissionsfaktor pro Schadstoff und Gebäude entwickelt, der den fehlenden Gebäuden zugewiesen wurde. Die so entwickelten Emissionsfaktoren weisen eine höhere Unsicherheit auf als die von Struschka et al. [25] ermittelten Emissionsfaktoren, die auf zahlreichen Messungen an Anlagen beruhen (Gütestufe A – B).

Die Datenerhebung der LIV dient nicht originär der Erfassung von Emissionsdaten. Daher können Unvollständigkeiten hinsichtlich der Informationen zu der Feuerstättenart, dem Brennstoff, der Nennwärmeleistung oder auch der tatsächlichen Nutzung auftreten. Des Weiteren konnten nicht alle Gebäude identifiziert werden, die über Fernwärme versorgt werden. Hierdurch kann es in den Bereichen, die nicht durch Informationen der LIV abgedeckt sind, zu einer weiteren Überschätzung der tatsächlichen Emission kommen. Alle ergänzend vorgenommenen Annahmen zu den Emissionen einzelner Feuerstätten sind konservativ und mithin im Zweifel überschätzend. Die abgeschätzte Aktivitätsrate kann in der Gütestufe B angesiedelt werden.

6.4 Quellgruppe Verkehr

6.4.1 Straßenverkehr

Die Lage des Straßenverkehrsnetzes in Niedersachsen wird lagegenau aus dem ATKIS-Datensatz entnommen. Zur Ermittlung der Verkehrsmenge wird auf Zählraten verschiedener Bezugsjahre, aber auch auf synthetisch erzeugte und pauschal festgelegte Daten zurückgegriffen. Aus den unterschiedlichen Bezugsjahren der Zählraten ergibt sich eine Unsicherheit, die jedoch bei der geringfügigen Änderung der Verkehrsmenge im Laufe der Jahre eher marginal und auf einzelne Abschnitte begrenzt ausfällt. Im Gegensatz dazu bedeuten die für etwa zwei Drittel der Straßenlänge in Niedersachsen synthetisch erzeugten und pauschal festgelegten Verkehrsmengen eine größere Unsicherheit. Diese Methode musste wegen der fehlenden Zählraten auch für Straßen in Stadtgebieten angewendet werden. Aufgrund der heterogenen Ausgangslage ist die Aktivitätsrate in die Gütestufen B-C einzuordnen.

Die Emissionsfaktoren des HBEFA basieren auf umfangreichen Einzelmessungen und Untersuchungen und bilden die Emissionen für viele Fahrzeugtypen und Emissionskonzepte mit Einschränkungen realitätsnah ab. Die Auswahl der verwendeten Emissionsfaktoren erfolgt größtenteils aufgrund einer pauschalisierten Zuordnung von Verkehrssituationen und Verkehrsqualitätsstufen. Diese Vorgehensweise verursacht eine geringfügige Unsicherheit, die methodenbedingt akzeptiert wird. Die Emissionsfaktoren werden hinsichtlich der Unsicherheit mit der Gütestufe A-B bewertet. Die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Verkehrsmengen und -situationen setzen sich allerdings in der Zuordnung der Emissionsfaktoren fort. Eine Einstufung der ermittelten Emissionen des Straßenverkehrs in die Gütestufe B-C ist daher realistisch.

6.4.2 Schienenverkehr

Die bahneigenen Emissionen des Schienenverkehrs wurden streckenbezogen übermittelt und sind mithin hinsichtlich ihrer räumlichen Lage exakt erfasst. Die Emissionen der DB AG basieren auf streckenbezogenen Zugbewegungen des Fahrplanes 2012 in Verbindung mit zugspezifischen Emissions- und Abtriebfaktoren. Außerplanmäßige Zugbewegungen, wie z. B. Rangierfahrten wurden nicht erfasst. Diese können jedoch lokal einen relevanten Beitrag zur Luftschadstoffbelastung leisten. Die Emissions- und Abtriebfaktoren wurden auf der Grundlage von statistischen Auswertungen motorspezifischer Energieverbräuche und Verbräuche abtriebrelevanter Verschleißteile ermittelt. Emissionen durch Aufwirbelungen wurden nicht berücksichtigt. Die Quellgruppe der bahneigenen Emissionen werden hinsichtlich ihrer Unsicherheit der Gütestufe B zugewiesen.

Die Emissionen der sogenannten Dritten sind einer niedersachsenweiten Schätzung entnommen und beinhalten lediglich verbrennungsbedingte Emissionen. Die genaue Lage der Emissionen ist dahingehend unbekannt, dass nicht klar ist, wo auf dem Streckennetz emittiert wird. Die längenlineare Verteilung der Emissionen auf die aktiven Trassen des vorliegenden Schienennetzes führt für die Emissionen der Dritten zu einer Unsicherheit der Gütestufe C. Die Dritten haben bereits einen hohen Anteil an der Fahrleistung im Schienenverkehr und verursachen dadurch verbrennungsbedingte Emissionen in der Größenordnung der DB AG. Eine Einordnung der ermittelten Emissionen des Schienenverkehrs in die Gütestufe B-C ist demzufolge realistisch.

6.4.3 Schifffahrt

Die Emissionen der Schifffahrt werden durch die Verwendung des geographischen Datensatzes des Verkehrsnetzes der niedersächsischen Bundeswasserstraßen realitätsnah verortet. Die Emissionen der Schifffahrt wurden getrennt für die Binnenschifffahrt und den Seeverkehr anhand von streckenbezogenen Beförderungsleistungen und beförderungsleistungsspezifischen Emissionsfaktoren bestimmt. Die Emissionsfaktoren basieren auf mittleren Verbrauchswerten einer durchschnittlichen deutschen Binnenschiff- flotte und auf dem mittleren Verbrauchswert mittelgroßer Containerschiffe. Die Ermittlung der Beförderungsleistung erfolgte für Binnen- und Seeschiffe anhand von statistischen Erhebungen und Zählungen an Schleusen und in Häfen. Insgesamt ist die Quellgruppe der Emissionen der Schifffahrt hinsichtlich ihrer Unsicherheit der Gütestufe C zuzuordnen.

Die Verwendung von unterschiedlichen Emissionsfaktoren für Berg-, Tal- und Kanalfahrt unter Berücksichtigung der richtungsorientierten Beförderungsleistung sowie eine detaillierte Untersuchung der Binnenschiff- flotte auf dem niedersächsischen Schifffahrtsstraßennetz und daraus abgeleitete Emissionsfaktoren waren für dieses Projekt noch nicht möglich.

6.4.4 Offroadverkehr

Der Offroadverkehr findet prinzipiell überall dort statt, wo keine Straßen sind. In welchem Ausmaß auf welchen Flächen tatsächlich Verkehrsbewegungen stattfinden, konnte für dieses Projekt jedoch nicht ermittelt werden. Stellvertretend wurden die Emissionen der landwirtschaftlichen Zugmaschinen auf Teile der landwirtschaftlichen Nutzflächen verteilt. Dies kann somit nur als sehr grobe Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse angesehen werden. Zusätzlich kann sich die Nutzung auch auf den genutzten Feldblockdaten ändern (Grünlandumbruch zu Acker, etc.). Daher kann auch diese Verteilung nur eine grobe Annäherung sein.

Für die Ermittlung der Emissionen des Offroadverkehrs wurden zum einen die amtlichen Zulassungs- und Bestandszahlen landwirtschaftlicher Zugmaschinen verwendet. Für die restlichen zum Offroadverkehr beitragenden Fahrzeuggruppen (mobile Maschinen von Industrie, Forstwirtschaft, Militär u. a.) liegen keine Daten vor. Zum anderen wurde aus den vorliegenden Zahlen auf die Zusammensetzung der Flotte nach Emissionsklassen geschlossen. Die so ermittelte Aktivitätsrate kann lediglich der Stufe D zugeordnet werden. Die verwendeten Emissionsfaktoren der einzelnen Emissionsklassen des BAFU sind aus Messwerten an mobilen Maschinen abgeleitet. Hier ist von einer Gütestufe B auszugehen.

Generell verbleibt jedoch eine relativ große Unsicherheit aufgrund der fehlenden Daten zu anderen Quellen als der Landwirtschaft. Hier ist in den eher siedlungsfernen Gebieten mit einer Unterschätzung des Beitrags des Offroadverkehrs zu rechnen. Wie groß dieser Beitrag tatsächlich ist, kann jedoch nicht beziffert werden.



6.5 Gesamtbewertung der Unsicherheiten

Die Emissionen der beschriebenen Quellgruppen können unterschiedlichen Gütestufen zugeordnet werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich diese Gütestufen rein auf die ermittelten Emissionsdaten und den diesen zugrunde liegenden Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren beziehen.

Die geographischen Positionen der Quellen und die Zuordnung der Emissionen zu diesen Quellen konnten zum Teil klar identifiziert werden, wie z. B. bei der Quellgruppe Industrie. Bei anderen Quellgruppen ist die Zuordnung der Emissionen zur geographischen Position nur über mittlere Verteilungen möglich (Abschnitt 6.1 bis 6.4).

Tabelle 19: Unsicherheiten der Quellgruppen des HErmEliN-Projektes

Anhand der Vorgaben des Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 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
Schieneverkehr	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	-

7. Fazit und weitere Vorgehensweise

Im Rahmen des HErmEliN-Projektes konnte eine Vielzahl der Emissionsquellen für Luftschadstoffe in Niedersachsen identifiziert und deren Emissionen quantifiziert werden. Die für die Berechnung eingesetzten Methoden liefern für die Ziele des Projektes plausible Ergebnisse. Gleichwohl liegen die Emissionen je nach Quellgruppe in unterschiedlicher Genauigkeit vor. Es verbleiben Datenlücken, Ungenauigkeiten und grobe Abschätzungen. Daher sollte der Fokus zukünftiger Arbeiten auf die Verbesserung der Genauigkeit des Emissionskatasters und den daraus zu entwickelnden Immissions-Vorbelastungskarten für Luftschadstoffe (Hintergrundkarten) gelegt werden. Das Potenzial hierfür liegt u. a. in

- der genaueren Aufschlüsselung der Industrie-Emissionen nach Branchen,
- der Verbesserung der Datenlage zu den tatsächlich installierten BHKW-Modulen auf Biogasanlagen und deren Emissionen,
- der genaueren Erfassung und Zuordnung der Hausbranddaten,
- der weiteren räumlichen Identifizierung von Stallanlagen der Landwirtschaft,
- der genauen räumlichen Zuordnung von Tierzahlen zu den Stallanlagen,
- der Verwendung differenzierter Daten aus anderen Quellen in der Tierhaltung,
- der Verwendung eines Güllekatasters,
- der Verbesserung der Datengrundlage zu den Verkehrsmengen des niedersächsischen Straßennetzes,
- der genaueren Erfassung der Emissionen des gesamten Schienenverkehrs,
- der Erfassung der Emissionen durch Aufwirbelungen des Schienenverkehrs,
- der Erfassung der tatsächlichen Schifffahrtsflotte auf dem Schifffahrtsstraßennetz,
- der Erfassung von Schiffsemissionen in See- und Binnenhäfen sowie durch Fähren,
- der Erfassung der Emissionen des Flugverkehrs und des Flughafensbetriebs,
- der genaueren Erfassung mobiler Maschinen sowie deren Emissionen im Offroadverkehr, speziell außerhalb der Landwirtschaft, und
- einer Entwicklung von Möglichkeiten zur besseren Abschätzung biogener Emissionen.

Da bislang kein flächendeckendes Emissionskataster für das Bundesland Niedersachsen existierte, wurden mit dem HErmEliN-Projekt die ersten Schritte unternommen um zukünftig auf einer sicheren Basis die Emissionen von Luftschadstoffen aus verschiedenen Quellen ermitteln zu können. Aufbauend auf diesem Grundgerüst soll mit Hilfe kontinuierlicher Verbesserungen der Eingangsdaten und Methoden sowie der Ausweitung der erfassten Emissionen auf weitere Quellgruppen ein robustes Werkzeug zur Luftqualitätsbeurteilung entstehen.

Die nach den Vorgaben dieses Berichts erzeugten Emissionsdaten werden im nächsten Schritt auf ein vorgegebenes Rastergitternetz übertragen. Dieses Emissionsgitternetz entspricht dem Rechengitter des Chemie-Transport-Modells und wird hierfür als Eingangsdatensatz verwendet. Zusätzlich werden die nicht erfassten Emissionen in Niedersachsen (fehlende Stoffe, biogene Quellen, etc.) sowie die Emissionen außerhalb Niedersachsens dem Emissionsgitternetz angefügt. In den Gitterzellen, die das Gebiet von Niedersachsen nur teilweise überdecken, werden die hier ermittelten Emissionen mit denen außerhalb Niedersachsens flächengewichtet zusammengebracht. Das Emissionsgitternetz wird vom Chemie-Transport-Modell zur Berechnung der Immissionen genutzt.

Das erste Ergebnis der Berechnung ist eine flächendeckende Immissionsverteilung für Niedersachsen für die Stoffe PM₁₀, NO_x, NO₂ und O₃. In einem darauf folgenden Schritt werden reale Messergebnisse der Luftschadstoffe PM₁₀ und NO₂ aus dem Messnetz Niedersachsens (LÜN) mit den Modelldaten zusammengebracht. Dieser Schritt dient zur Identifizierung und Bereinigung von Ungenauigkeiten.

Das Endergebnis ist eine auf der Grundlage der beschriebenen Emissionen und der Messergebnisse erstellte Immissions-Vorbelastungskarte, die flächendeckende Informationen über die mittlere jährliche Immissionssituation verschiedener Schadstoffe in Niedersachsen bereitstellt.

Die Vorbelastungskarte bildet zusätzlich die Ausgangsbasis für die Ermittlung von potentiellen Hotspots für Luftschadstoffe in Niedersachsen. Hotspots sind in diesem Fall definiert als Immissionsorte, die einer besonders hohen Belastung durch Luftschadstoffe ausgesetzt sind. Aus den Daten der hochaufgelösten Gebäudestruktur und des Straßennetzes werden zunächst geometrisch-potenzielle Hotspots ermittelt (z. B. Straßenschluchten). Mit Hilfe der Vorbelastungskarte, den ermittelten geometrisch-potenziellen Hotspots und den Kopplungsdateien der Meteorologie werden in einem letzten Schritt die potentiellen Hotspots identifiziert.

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen sowie die Ermittlung potentieller Hotspots sind im Gesamtbericht [5] zu finden.



8. Literatur

- [1] Deutscher Bundestag, Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV), 2010.
- [2] Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 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] Europäischer Gerichtshof, 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] GAA Hildesheim, HErmEliN: Gesamtbericht, Hildesheim, 2017.
- [6] A. Helbig, J. Baumüller, M.J.(Kerschgens, Stadtklima und Luftreinhaltung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1999.
- [7] Deutscher Bundestag, Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen – 13. BImSchV), 2013.
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft): TA Luft, 2002.
- [9] World Health Organization, Ambient (outdoor) air quality and health: Fact sheet No. 313. updated September 2016, 2016, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>, accessed 12 December 2016.
- [10] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Gefahrstoff-Informationssystem (GESTIS-Stoffdatenbank), 2016.
- [11] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Feinstaub: Diffuser Staub – Klares Handeln, 2010.
- [12] 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).
- [13] B. Lohrengel, A. Hainsch, U. Dämmgen, E. Klasmeier, M. Köster, Räumliche und zeitliche Variation von Ammoniak-Konzentrationen in der Außenluft, Immissionsschutz 13 (2013) 112–119.
- [14] Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union, Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe: 2001/81/EG, 2001.
- [15] 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.
- [16] R. Stern, Das chemische Transportmodell REM-CALGRID: Modellbeschreibung. Stand: Januar 2009, Berlin, 2009.
- [17] M. Schaap, C. Cuvelier, C. Hendriks, B. Bessagnet, J.M. Baldasano, A. Colette, P. Thunis, D. Karam, H. Fagerli, A. Graff, R. Kranenburg, A. Nyiri, M.T. Pay, L. Rouil, M. Schulz, D. Simpson, R. Stern, E. Terrenoire, P. Wind, Performance of European chemistry transport models as function of horizontal resolution, Atmospheric Environment 112 (2015) 90–105.
- [18] Deutscher Bundestag, Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen – 11. BImSchV), 2007.
- [19] 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.
- [20] VDI, Emissionsminderung; Biogasanlagen in der Landwirtschaft; Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger, Beuth Verlag, Berlin 13.040.40, 2010.
- [21] 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen, Biogas in Niedersachsen: Inventur 2014. 6. überarbeitete Auflage, 6th ed., Hannover, 2014.
- [22] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Faustzahlen Biogas, 2015, <http://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>, accessed 26 April 2016.
- [23] DBFZ, Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft: FKZ: 22023606, Gülzow-Prüzen, 2012.

- [24] EEA, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories, Luxemburg, 2013.
- [25] M. Struschka, D. Kilgus, M. Springmann, G. Baumbach, Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung: Forschungsbericht 205 42 322. UBA-FB 001217, Stuttgart, 2008.
- [26] INFRAS, HBEFA 3.2: Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Bern, 2014.
- [27] IVU Umwelt, IMMIS^{em/luft}: Handbuch Version 6, Freiburg, 2015.
- [28] BBSR, Laufende Raumb Beobachtung: Raumabgrenzungen, Raumtypen 2010, 2012, http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/Raumtypen2010_vbg/Raumtypen2010_alt.html, accessed 15 April 2016.
- [29] Tele Atlas, MultiNet®: Straßennetzdatenbank, Logiball GmbH, 2010.
- [30] VDI, Umweltmeteorologie; Kfz-Emissionsbestimmung; Luftbeimengungen, Beuth Verlag, Berlin 13.040.01; 13.040.50, 2003.
- [31] IVU Umwelt, Anwendung von EKatDyn für Niedersachsen: Dokumentation. Im Auftrag des Staatlichen Gewerbeaufsichtsamts Hildesheim, Freiburg, 2015.
- [32] A. Löchter, A. Seifert, Modellsystem zur Berechnung des Abriebs und anderer luftgetragener Schadstoffe des Schienenverkehrs, Immissionsschutz 2007 (2007) 169–175.
- [33] EBA, Stillgelegte Strecken in Deutschland, 2015, http://www.eba.bund.de/DE/HauptNavi/Infrastruktur/Stilllegung/stilllegung_node.html, accessed 4 July 2016.
- [34] Öko-Institut e.V., TOP 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte: Endbericht, Freiburg, 2013.
- [35] WSD Mitte, Verkehrsbericht 2012: Verkehrsaufkommen und Verkehrsströme auf den Bundeswasserstraßen im Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte 2012, Hannover, 2013.
- [36] WSD Ost, Verkehrsbericht der WSD Ost 2012: Binnenschifffahrt in Zahlen, Magdeburg, 2013.
- [37] WSD West, Verkehrsbericht 2012: Niederrhein und westdeutsches Kanalnetz, Münster, 2013.
- [38] 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.
- [39] Statistisches Bundesamt, Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt 2012. Fachserie 8 Reihe 4, Wiesbaden, 2013.
- [40] Statistisches Bundesamt, Seeschifffahrt 2012. Fachserie 8 Reihe 5, Wiesbaden, 2013.
- [41] IFEU, Fortschreibung und Erweiterung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“: TREMOD, Version 5. Endbericht, Heidelberg, 2010.
- [42] PLANCO Consulting GmbH, Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße: Schlussbericht Projekt 675, Essen und Koblenz, 2007.
- [43] UBA, ProBas: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme, 2016, www.probas.umweltbundesamt.de, accessed 6 July 2016.
- [44] Deutscher Bundestag, Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraft- und Brennstoffen – 10. BImSchV), 2010.
- [45] KBA, Fahrzeugzulassungen (FZ): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter 1. Januar 2015. FZ 15, 2015.
- [46] Statistisches Bundesamt, Verkehr: Verkehr aktuell. 09/2015, Wiesbaden, 2015.
- [47] EU, Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte: 1997/68/EG, 1997.
- [48] BAFU, Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors: Studie für die Jahre 1980-2020. 28/08, Bern, 2008.
- [49] BAFU, Non-road-Datenbank, 2015, <http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/06906/offroad-daten/index.html?lang=de>, accessed 8 April 2016.
- [50] M. Schreiber, Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Ackerschleppern im besonderen Hinblick auf CO₂-Emissionen. Dissertation, Hohenheim, 2006.
- [51] K. Otto, Kraftstoffsparender Traktoreneinsatz: Wie der Kraftstoffverbrauch in der Landwirtschaft verringert werden kann, 1st ed., Diplomica Verlag GmbH, Hamburg, 2011.



- [52] G. Gastinger, Untersuchung des Kraftstoffverbrauchs in der 75 kW Traktorenklasse mit einem leistungsverzweigten und lastschaltbaren Getriebe. Masterarbeit, Wien, 2011.
- [53] B. Graham, P. Guyon, P.E. Taylor, P. Artaxo, W. Maenhaut, M.M. Glovsky, R.C. Flagan, M.O. Andreae, Organic compounds present in the natural Amazonian aerosol: Characterization by gas chromatography-mass spectrometry, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 108 (2003).
- [54] M. Viana, T.A. Kuhlbusch, X. Querol, A. Alastuey, R.M. Harrison, P.K. Hopke, W. Winiwarter, M. Vallius, S. Szidat, A.S. Prevot, others, Source apportionment of particulate matter in Europe: a review of methods and results, *Journal of Aerosol Science* 39 (2008) 827–849.
- [55] J.-P. Putaud, F. Raes, R. van Dingenen, E. Brüggemann, M.-C. Facchini, S. Decesari, S. Fuzzi, R. Gehrig, C. Hüglin, P. Laj, G. Lorbeer, W. Maenhaut, N. Mihalopoulos, K. Müller, X. Querol, S. Rodriguez, J. Schneider, G. Spindler, H.T. Brink, K. Tørseth, A. Wiedensohler, A European aerosol phenomenology—2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, *Atmospheric Environment* 38 (2004) 2579–2595.
- [56] Deutscher Bundestag, Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV), 2013.

9. Anhang

9.1 Formeln zur Berechnung der Emissionen von BHKW von Biogasanlagen

Für die Berechnung der Emissionen von Biogasanlagen in Niedersachsen (Abschnitt 5.2.3) konnten vorhandene Daten zur Leistung der auf den Biogasanlagen installierten Blockheizkraftwerke (BHKW) genutzt werden. Für die Umrechnung der Leistung in eine mittlere jährliche Emission der Anlage wurden die in Tabelle 20 dargestellten Formeln genutzt.

Tabelle 20: Formeln Emissionen Biogasanlagen

Verwendete Formeln und Konstanten zur Berechnung der Emissionen von Luftschadstoffen des I der BHKW(s) einer Biogasanlage aus der bekannten installierten elektrischen Leistung des Aggregats I der Aggregate

Größe	Einheit	Formel / Konstante	Nr.
Elektrischer Wirkungsgrad BHKW	%	36	-
Unterer Heizwert	kWh/m ³	6,0	-
Feuerungswärmeleistung (FWL)	kW	$FWL = \frac{P}{0,365}$	(3)
Volumenstrom (V)	m ³ /h	$V = \frac{FWL}{1,12186}$	(4)
Emissionsmassenstrom (E _{Stoff})	kg/h	$E_{Stoff} = V * EF_{Stoff}$	(5)
Emissionsmassenstrom (E _{Stoff, Jahr})	kg/a	$E_{Stoff, Jahr} = E_{Stoff} * 8.000$	(6)

9.2 GIS-basierte Identifizierung von Tierhaltungsanlagen

Stallanlagen zur Haltung von Tieren sind im ATKIS-Datensatz nicht eindeutig gekennzeichnet. Um dennoch die Emissionen der Landwirtschaft, die anhand der Tierzahlen ermittelt werden, sinnvoll auf die Gebäude zu verteilen, die tatsächlich als Stallanlagen genutzt werden, wurden verschiedene Annahmen zu den Stallformen getroffen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass Stallanlagen spezifisch auf die Haltung einer Tierart ausgelegt sind. So können nach den im Folgenden benannten Kriterien die Gebäude zur Haltung von Rindern, Geflügel und Schweinen mit einer ausreichenden Genauigkeit identifiziert werden.

Zunächst wird eine grobe Vorauswahl getroffen, die im Anschluss tierartabhängig differenziert wird. Generell wird angenommen, dass Stallanlagen zur Tierhaltung nicht in der Hauskoordinatendatei des LGLN verzeichnet sind, da sie im Normalfall keine eigene postalische Anschrift besitzen. Des Weiteren wird angenommen, dass sie sich außerhalb oder am Rand von Siedlungsgebieten befinden. Gebäude, die außerhalb eines Innenpuffers von 100 m von Siedlungsgebieten liegen sowie alle Gebäude außerhalb von Siedlungsgebieten ab einer bestimmten Größe werden somit als potenzielle Tierhaltungsanlage vorausgewählt. In Gebieten mit einer hohen Dichte von Betrieben mit Intensivtierhaltung können die meisten großen Gebäude auch tatsächlich landwirtschaftlichen Betrieben zugeordnet werden. In Landkreisen mit einer eher geringen Dichte von Betrieben mit Intensivtierhaltungen ergibt sich umgekehrt eine höhere Fehlerquote bei der Gebäudezuordnung. Hier sind viele große Gebäude nicht landwirtschaftlich genutzt sondern tatsächlich anderen Nutzungsarten zuzuordnen.

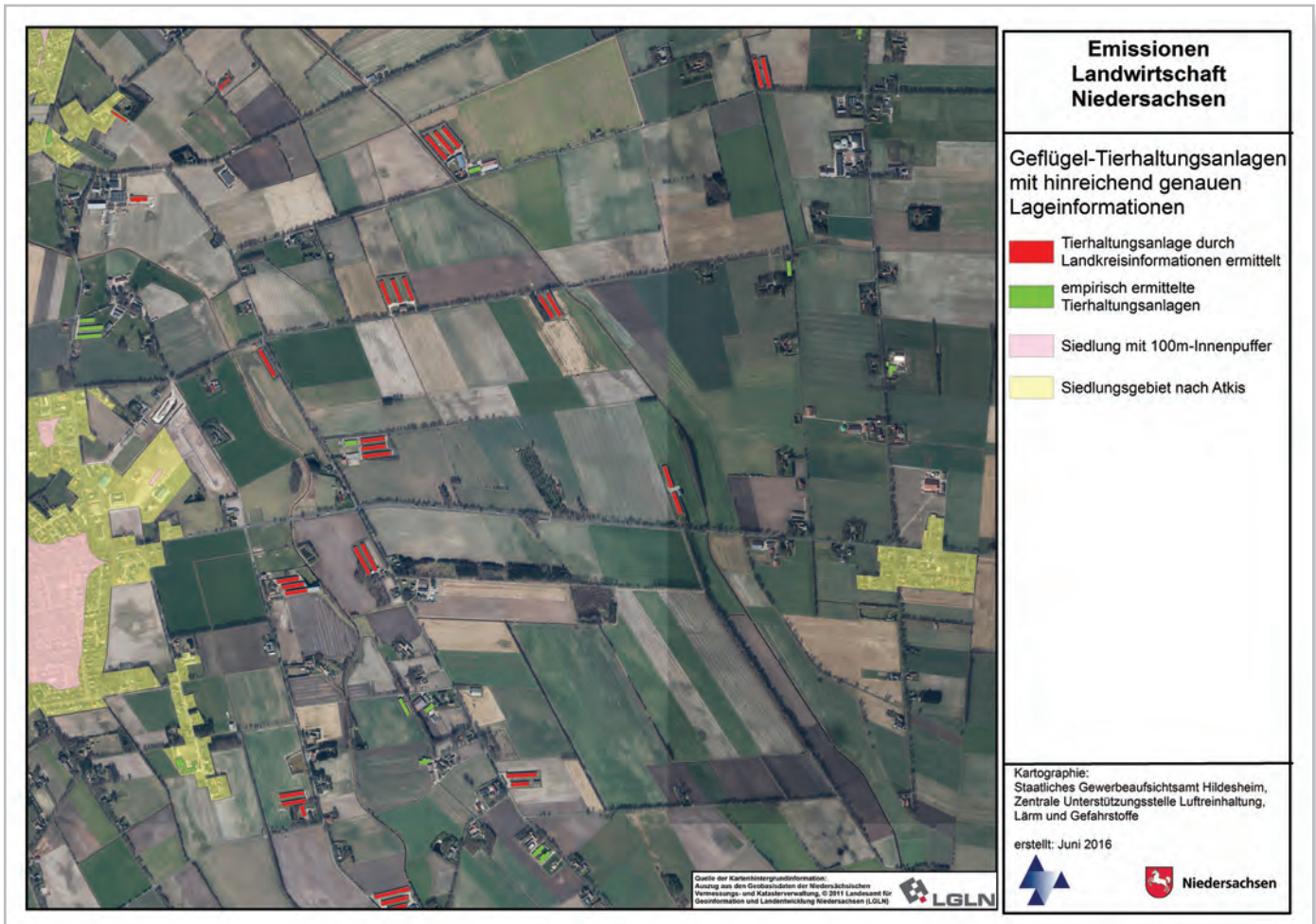


Abbildung 30: Beispiel Identifizierung Geflügelhaltung

Luftbild mit Beispiel zu einem Siedlungsgebiet aus ATKIS (rosa) mit Innenpuffer (gelb) sowie aus Landkreisdaten ermittelten (rote Felder) und empirisch identifizierten (grüne Felder) Geflügelmastanlagen

9.2.1 Rinder

Für die Identifizierung von Rinderställen werden unterschiedliche Vorgehensweisen angewendet. Das jeweilige Verfahren richtet sich dabei nach der Intensität der Tierhaltung sowie nach den vorhandenen Eingangsdaten. So wurden z. B. georeferenzierte und tierartbezogene Informationen aus einigen Landkreisen übermittelt und als Koordinatenpunkte abgelegt. Im Landkreis Wesermarsch wurden anhand von georeferenzierten Fotos Hofstellen mit Rinderhaltungen identifiziert und ebenfalls als Punktquellen verortet. Im Umkreis der so erhaltenen Koordinatenpunkte wurden die entsprechenden umliegenden größeren Gebäude als Rinderhaltungsanlage definiert.

Neben diesen exakt verorteten Anlagen wurden in Gebieten, in denen die Intensivtierhaltung große Teile der Landwirtschaft ausmacht und die Rinderhaltung dominiert (Landkreise Cuxhaven, Wittmund, Verden etc.), aktuelle Luftbilder detailliert analysiert. Die typischen Anlagenformen und die sie um-

gebenden Strukturen (z. B. Laufstallboxen, Silagelager, Güllebehälter) sind eindeutig identifizierbar (Auswahlkriterien mit hoher Qualität). Bei dieser Art der Datenermittlung handelt es sich um ein sehr genaues, jedoch auch zeitintensives Verfahren. Eine vollständige Erfassung aller Stallanlagen in Niedersachsen auf diese Weise steht indes noch aus. Eine Vervollständigung dieser Arbeiten kann aber eine solide Datenbasis zur Verortung von Emissionen der Rinderhaltung schaffen.

Aus diesen bekannten Rinderhaltungsanlagen konnten empirisch Gebäudeparameter entwickelt werden, in deren Grenzen sich typischerweise Anlagen zur Rinderhaltung bewegen. Hierbei haben die Gebäude typischerweise eine Gebäudehöhe von 9 – 13 m und eine Gebäudegrundfläche von 400 – 5.000 m².

Abbildung 31 liefert eine Übersicht, in welchen Gebieten Niedersachsens nach welcher Methode im Rahmen des HERmEliN-Projektes zur Ermittlung von Rinderhaltungsanlagen vorgegangen werden konnte.

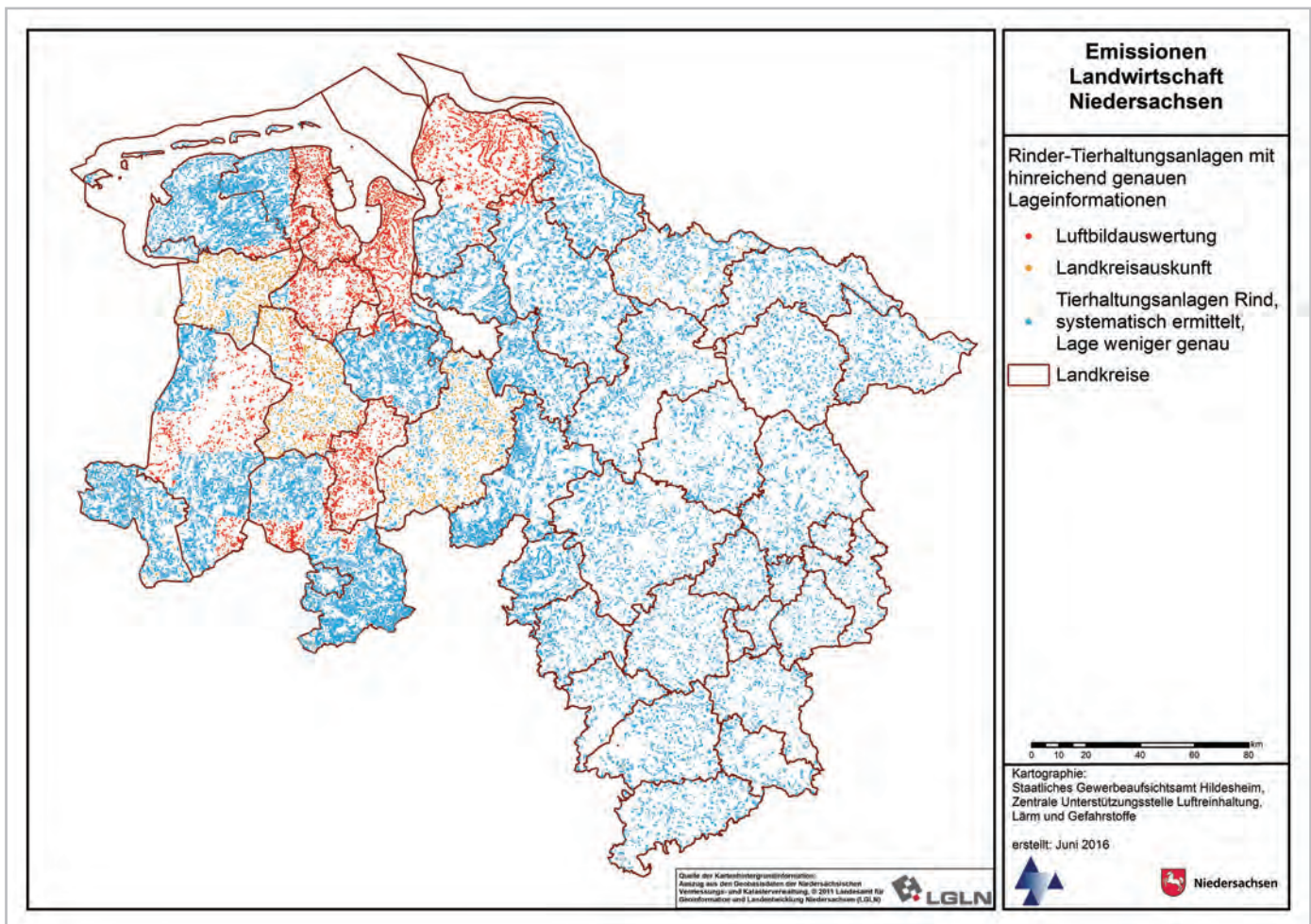


Abbildung 31: Übersicht Rinderställe

Auf Grundlage der im Text beschriebenen Verfahren (rote Punkte = Luftbildauswertung; gelbe Punkte = Landkreisinformation; blaue Punkte = empirischer Ansatz) identifizierte Rinderhaltungsanlagen

9.2.2 Geflügel

Die Anlagen zur Geflügelhaltung konnten weitgehend automatisch identifiziert werden. Auch hier lagen für Teile Niedersachsens georeferenzierte Informationen aus den Landkreisen vor, die zur direkten Identifizierung von Geflügelhaltungen genutzt werden konnten.

Ferner konnte aus den vorliegenden Daten zu Geflügelställen ein Länge/Breite-Verhältnis von mindestens 3,7 als ge-

eignetes Kriterium zur Unterscheidung von Stallanlagen zur Geflügelhaltung und Rinderhaltung abgeleitet werden. Als weiteres geeignetes Merkmal wird die Gebäudegrundfläche (zwischen 800 m² und 3.000 m²) als Unterscheidungskriterium herangezogen.

Ein Beispiel der nach den beschriebenen Methoden ermittelten Anlagen zur Geflügelhaltung ist in Abbildung 30 zu sehen. Eine Übersicht stellt Abbildung 32 dar.

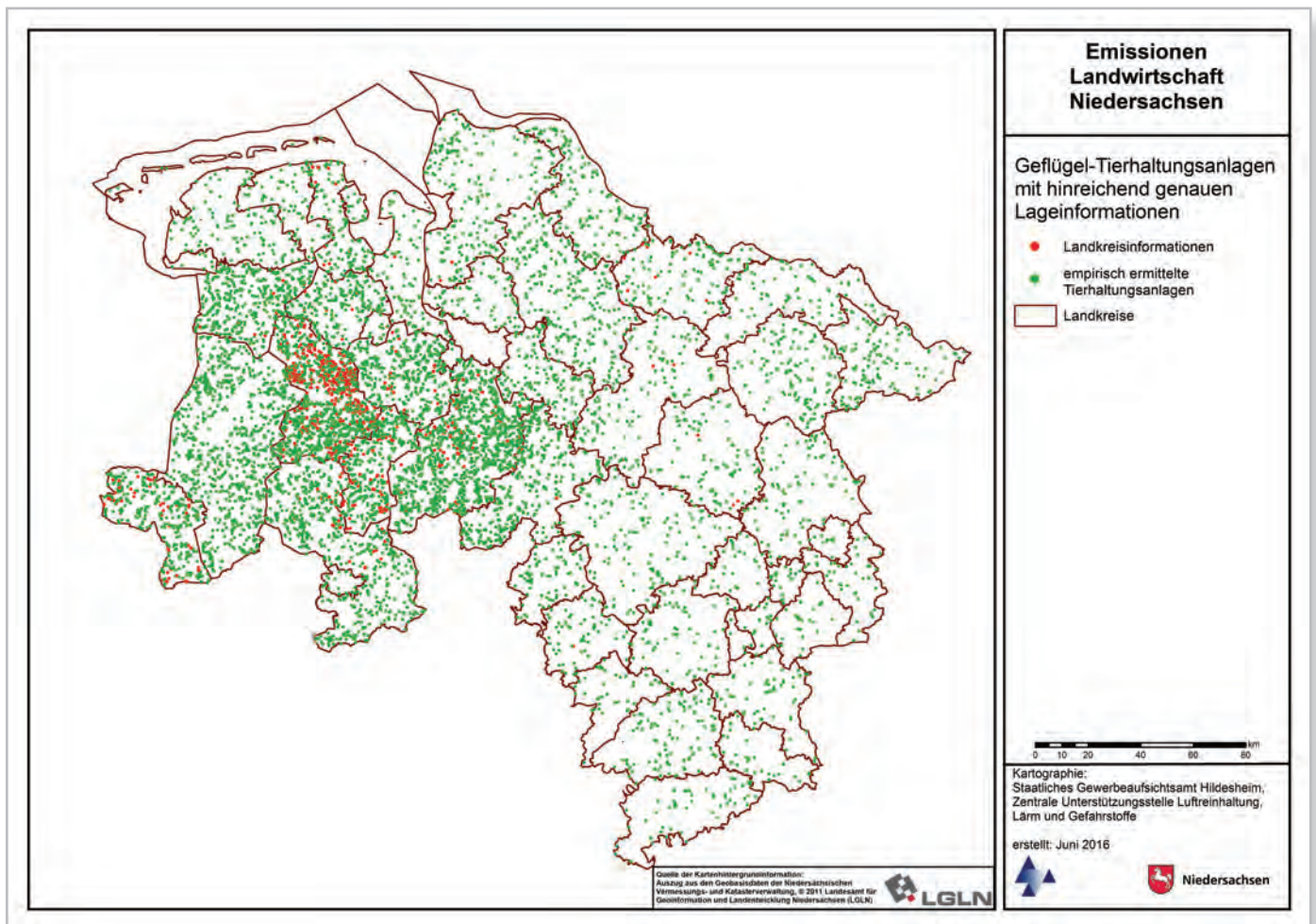


Abbildung 32: Vorliegende Daten für Geflügelmastanlagen

Übersicht der für die unterschiedlichen niedersächsischen Landkreise vorliegenden (rote Punkte) und im HErMELiN-Projekt ermittelten (grüne Punkte) Geflügelhaltungen

9.2.3 Schweine

Aus den Bestandsdaten des ATKIS sowie den zuordenbaren Tierzahlen der Landkreise konnten keine eindeutigen Merkmale der Gebäudestruktur für eine Identifizierung von Schweinemastanlagen herausgefiltert werden. Da aber für die beiden zuvor behandelten Tierarten gut identifizierbare Merkmale herausgestellt werden konnten, kann für die Schweinehaltungsanlagen nach einem Ausschlussprinzip vorgegangen werden. Somit werden Gebäude, die

- eine Gebäudehöhe zwischen 3 m und 13 m,
- eine Gebäudegrundfläche zwischen 300 m² und 5.000 m²,

- ein Längen/Breiten-Verhältnis kleiner als 3,7 haben und
- nicht bereits durch Auswahlkriterien hoher Qualität als Rinder- oder Geflügelstall (Abschnitt 9.2.1 und 9.2.2) festgelegt wurden,

als Gebäude mit Schweinehaltung gekennzeichnet und für die Verteilung der Emissionen genutzt. Dies führt zwangsläufig zu Fehlpositionierungen von Quellen. Die ermittelten Emissionen werden folglich weiter gestreut und punktuelle Emissionsschwerpunkte unterbewertet. In der späteren gerasterten Emissionsdarstellung führt dies aber zu nur geringen Abweichungen.

9.3 GIS-basierte Positionierung der Hausbrand-Daten

Die vom LIV gelieferten Datensätze beinhalten Informationen zu den Feuerstätten sowie deren postalische Adressen. Eine direkte räumliche Verortung der Datensätze in einem GIS ist so nicht möglich. Es muss zunächst für jeden Datensatz jeder Feuerstätte ein Raumbezug hergestellt werden, so dass eine Kartendarstellung möglich wird.

Diese Georeferenzierung der Daten ist über die Anbindung an die Hauskoordinatendatei des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN; Abbildung 9) möglich. Diese Hauskoordinatendatei enthält für jedes verzeichnete Gebäude mit postalischer Anschrift in Niedersachsen einen mit Geokoordinaten versehenen Datenpunkt. Die Adressdaten erhalten dadurch einen La-

gebezug und werden für die im HERmEliN-Projekt durchgeführten Berechnungen verwendbar.

Können Adressdaten keinem Gebäude zugeordnet werden, werden die Daten dem nächsten vorhandenen Gebäude zugewiesen. Die Hauskoordinaten erhalten zusätzlich ein Qualitätsmerkmal, ob eine genaue oder ungefähre Zuordnung stattgefunden hat. Emissionsdaten gehen mithin nicht verloren sondern werden lediglich mit einer größeren Unschärfe verortet.

Alle an den Datenpunkten vorhandenen Attribute (Feuerstättenparameter, Schadstoffe) lassen sich beliebig aufgeschlüsselt lagebezogen darstellen, in Abbildung 33 ist beispielhaft der in den Feuerstätten verwendete Brennstoff und die räumliche Verteilung der Feuerstätten auf die Gebäude anhand der Hauskoordinatendatei dargestellt.

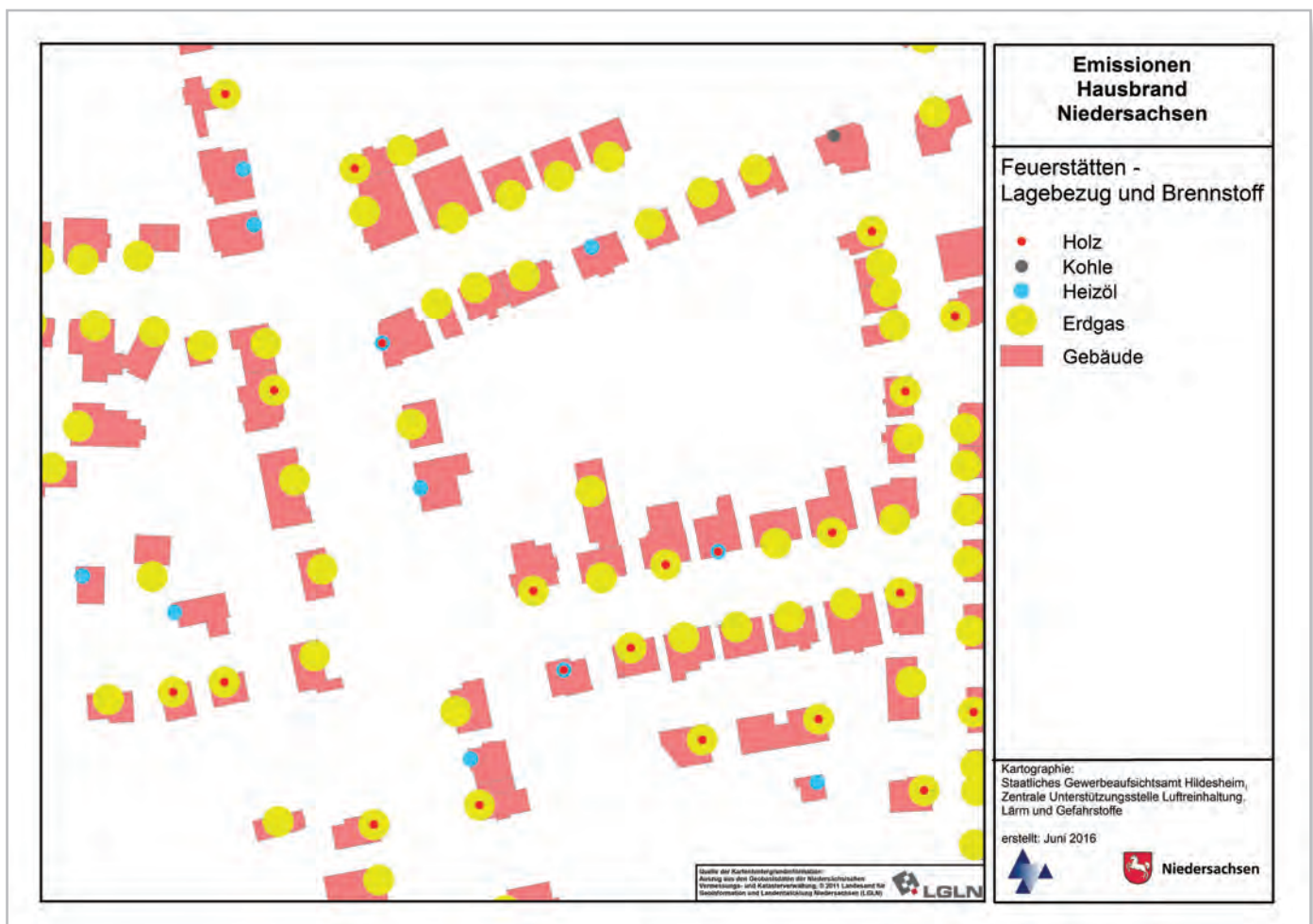


Abbildung 33: Beispiel Feuerstätten und Zuordnung zu Gebäudedaten
Beispiel für die Datengrundlage zur Hausbrandberechnung, aufgeschlüsselt nach den Brennstoffen Holz, Kohle, Heizöl, Pellets und Erdgas



9.4 Straßentypen in Niedersachsen

Tabelle 21: Straßentypen HBEFA 3.2

Im Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA 3.2) verankerte Kombinationen für Gebiets-, Straßentyp und Höchstgeschwindigkeit

Gebietstyp	Straßentyp	Tempolimit in km/h											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
ländlich	Autobahn						x	x	x	x	x	x	x
	Semi-Autobahn							x		x			
	Fern-, Bundesstraße				x	x	x	x	x	x			
	Hauptverkehrsstraße			x	x	x	x	x	x				
	Hauptverkehrsstraße, kurvig			x	x	x	x	x	x				
	Sammelstraße			x	x	x	x						
	Sammelstraße, kurvig			x	x	x	x						
	Erschließungsstraße	x	x	x	x								
Agglomeration	Autobahn						x	x	x	x	x	x	
	Stadtautobahn				x	x	x	x	x	x			
	Fern-, Bundesstraße					x	x	x	x	x			
	Magistrale, Ringstraße			x	x	x	x	x					
	Hauptverkehrsstraße			x	x	x	x						
	Sammelstraße			x	x								
	Erschließungsstraße	x	x	x	x								

Tabelle 22: Straßentypen und Kfz-Anteile

Für EKatDyn [31] gewählte standardmäßige Verteilung der Fahrzeugkategorien PKW; LLKW, SLKW, Busse und Krafträder auf Straßenabschnitte ohne bekannte Verkehrsdaten in Abhängigkeit vom Straßentyp

Straßentyp	PKW	leichte LKW	schwere LKW	Busse	Krafträder
Erschließungsstraße	92,7%	3,2%	1,9%	0,6%	1,6%
Sammelstraße	90,5%	4,6%	3,3%	1,1%	0,5%
Hauptverkehrsstraße	89,9%	4,8%	4,2%	0,5%	0,6%
Magistrale / Ringstraße	90,0%	4,4%	4,5%	0,4%	0,7%
Stadtautobahn	86,9%	5,1%	7,4%	0,1%	0,5%
Fern-, Bundesstraße	85,9%	6,6%	6,6%	0,2%	0,7%
Autobahn	80,6%	4,7%	14,1%	< 0,1 %	0,6%

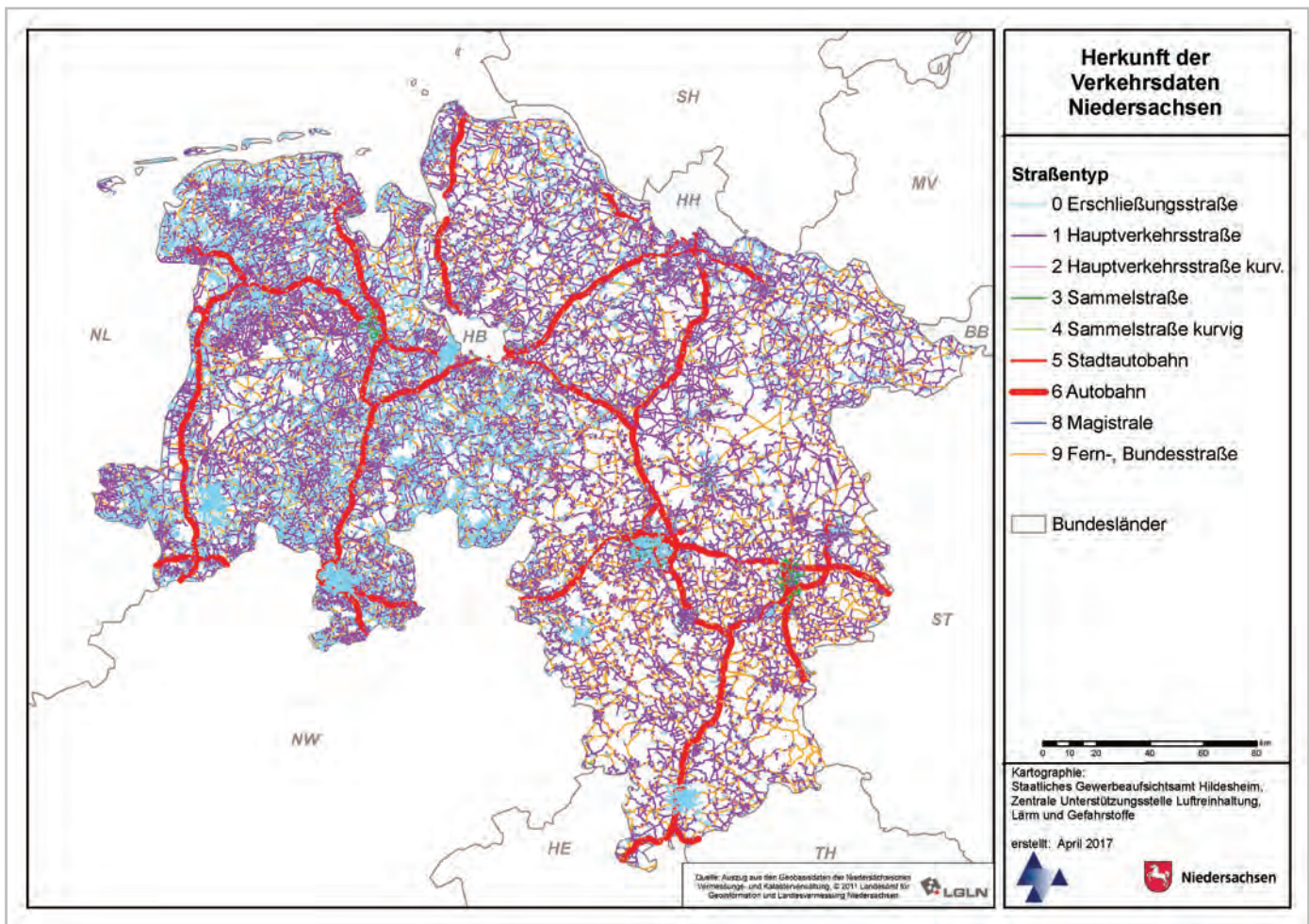


Abbildung 34: Verteilung der Straßentypen

Übersicht der in Niedersachsen vorhandenen Verteilung der HBEFA-3.2-Straßenabschnitte



Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung	Abkürzung	Erläuterung
3N	3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e.V.	Kfz	Kraftfahrzeuge
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte	LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
ATKIS	Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem	LHH	Landeshauptstadt Hannover
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung	LIV	Landesinnungsverband der Schornsteinfeger (Niedersachsen)
BGA	Biogasanlage	LKW	Lastkraftwagen
BHKW	Blockheizkraftwerk	LOD	Level of Detail; Detailgrad des Gebäude-modells
BImSchG; BImSchV	Bundes-Immissionsschutzgesetz; -Verordnung	LOS	Level of Service; Einstufung der Verkehrs-qualität
BUBE	Betriebliche Umweltdaten-Berichterstattung	LÜN	Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen
CORINE	Coordination of Information on the Environment; Projekt zur einheitlichen Klassifikation der Landnutzung	MultiNet®	Straßennetzdatenbank, von Tele Atlas (heute TomTom)
DB AG	Deutsche Bahn AG	NEC	National Emission Ceilings; EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke	(NM-)VOC	(Non-Methane-) Volatile organic compounds; flüchtige organische Kohlenstoffe ohne Methan
DWD	Deutscher Wetterdienst	NRMM	Non-Road mobile machinery; Fahrzeuge und Maschinen mit Verbrennungsmotor außerhalb öffentlicher Straßen
EBA	Eisenbahn-Bundesamt	P	<i>hier:</i> (elektrische) Leistung
EEA	European Environmental Agency; Europäische Umweltagentur	PKW	Personenkraftwagen
EF_{Stoff}	Emissionsfaktor eines Schadstoffes	PM	Particulate Matter; Feinstaub
EKatDyn	Dynamisches Emissionskataster	PROBAS	Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement
E_{Stoff, Jahr}	Jährliche Emission eines Schadstoffes	PRTR	Pollutant Release and Transfer Register; Schadstoffemissionsregister
EUGH	Europäischer Gerichtshof	RCG	Regional Eulerian Model – California Grid Model; Ausbreitungs-Rechenmodell für Immissionsberechnungen
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe	SV	<i>hier:</i> Schwerverkehr-Anteil (Verkehrszahlen)
FWL	Feuerungswärmeleistung	TRAMPER	Tropospheric Realtime Applied Procedures for Environmental Research, Tropospharisches Echtzeit-Anwendungsverfahren für Umweltforschung (diagnostisches Analyseverfahren für meteorologische Felder)
FZ	Fahrzeugzulassungen		
Fz	Fahrzeug		
GAA	Staatliches Gewerbeaufsichtsamt		
GIS	Geographisches Informationssystem		
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs		
H_u	Unterer Heizwert eines Brennstoffes		

Abkürzung	Erläuterung
TREMOD	Transport Emission Model
TSK	Tierseuchenkasse (Niedersachsen)
UBA	Umweltbundesamt
NLStBV	Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr
UFP	Ultrafeine Partikel
V	<i>hier:</i> Volumenstrom
VDI	Verein deutscher Ingenieure
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
CH₄	Methan
CO; CO₂	Kohlenmonoxid; Kohlendioxid
NH₃	Ammoniak
NH₄⁺	Ammonium-Ion
N₂O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)
NO; NO₂	Stickstoffmonoxid; Stickstoffdioxid
NO_x	Stöchiometrische Summe aus NO und NO ₂
NO₃⁻	Nitrat-Ion
O₃	Ozon
SO₂	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



