

Hintergrundbelastungsdaten Stickstoffdeposition

Ergebnisse und Daten des PINETI-3-Projekts

Erläuterungen des Umweltbundesamtes und Antworten auf FAQ, die im Rahmen eines Fachgesprächs am 24. Oktober 2017 an das UBA gerichtet wurden
Stand 10.04.2019

Vorbemerkung

Die Hintergrundbelastung für die Stickstoffdeposition wird als dreijähriger Mittelwert für die Jahre 2013 bis 2015 angegeben. Die veröffentlichten Daten entstammen dem UBA-Forschungsprojekt 3714 64 2010 „Modellierung und Kartierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität in Deutschland“ auch bekannt unter dem Akronym PINETI-3 (**P**ollutant **I**Nput and **E**cosys**T**em **I**mpact). Der Abschlussbericht der Forschungsnehmer zu PINETI-3 steht im Publikationsangebot des Umweltbundesamtes zur Verfügung ([link](#)).

Die Stickstoffdeposition ist eine der bedeutendsten Triebkräfte für den Rückgang der biologischen Vielfalt in Deutschland. Die flächenhafte Erfassung der Stickstoffdeposition ist daher notwendig, um die Wirkung von stickstoffhaltigen Luftverunreinigungen auf Ökosysteme bei der Entwicklung von Luftreinhaltestrategien zu berücksichtigen, sowie die Einhaltung von Umweltqualitätszielen der Genfer Luftreinhaltekonvention und der EU-Richtlinie 2016/2284 über die Reduktion nationaler Emissionen für bestimmte Luftschadstoffe (NEC-Richtlinie) und den Erfolg diesbezüglich eingeleiteter Minderungsmaßnahmen zu überprüfen.

Weiterhin müssen beim Bau und der Erweiterung bestimmter Anlagen oder bei der Planung von Straßen die Auswirkungen der projektbedingten Stickstoffdeposition auf empfindliche Ökosysteme und gesetzlich geschützte Gebiete beurteilt werden. Der Vollzug der entsprechenden Gesetze und die Ermittlung der Unter- oder Überschreitung von Critical Loads für solche Beurteilungsverfahren liegen in der Zuständigkeit der Länder. Daher sind in Vollzugsfragen primär die Fachbehörden der Länder zu konsultieren. Ein wichtiger Bestandteil der Prüfung ist die Ermittlung der Hintergrundbelastung. Da die messtechnische Erfassung der Stickstoffeinträge äußerst aufwendig und bei der trockenen Deposition nur indirekt möglich ist, bietet die Nutzung des nationalen Datensatz, der auf einer Kombination von Mess- und Modellwerten beruht, eine sinnvolle, einheitliche Alternative.

Die Karten der Stickstoff-Hintergrunddeposition werden zu diesem Zweck regelmäßig aktualisiert. Vor der Veröffentlichung der aktuellen Daten 2013-2015 im [Kartendienst](#) wurden die Ergebnisse des Projekts im Rahmen eines [Fachgesprächs](#) am 24. Oktober 2017 im UBA Dessau vorgestellt und am 19./20. Februar 2018 im LAI Bund-Länder Fachgespräch „Stickstoffdeposition (FGN)“ diskutiert. Das FGN nahm die neuen Hintergrunddepositionsdaten des UBA zur Kenntnis und bat das UBA in seinem Kartendienst die bisher genehmigungsrelevanten Daten des PINETI-2 Projekts mit dem Bezugszeitpunkt 2009 durch die Daten des PINETI-3 Projektes mit dem Bezugszeitraum 2013-2015 zu aktualisieren. Wesentliche Neuerung für die Genehmigungspraxis ist das Angebot eines Dreijahresmittelwerts. Die Daten spiegeln den aktuellen Stand der Wissenschaft unter Berücksichtigung international anerkannter Methoden wider¹. **Im vorliegenden Dokument werden Erläuterungen zum vorliegenden Datensatz und zur Handhabung des Kartendienstes gegeben, sowie Fragen (FAQ) beantwortet, die im Rahmen des Fachgesprächs am 24. Oktober 2017 in Dessau an das UBA gerichtet wurden.**

Das Umweltbundesamt bedankt sich bei den Mitwirkenden der Immissionsschutz- und wasserrechtlichen sowie forstlichen Umweltmessnetze für die Bereitstellung der Messdaten, die eine bedeutende und unerlässliche Grundlage für die Erhebung und Qualitätssicherung der vorliegenden Daten bilden.

¹ Ergänzend hat die Überprüfung der Daten im Land Baden-Württemberg (BW) ergeben, dass für eine Anwendung im Vollzug BW-spezifische Korrekturfaktoren zur Anwendung kommen, welche die nationalen Berechnungen erhöhen (<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/medieneuebergreifende-umweltbeobachtung/stickstoffbw>).

Inhalt

Vorbemerkung	1
Inhalt	2
1. Fragen zur Methodik der Modellierung, zu Eingangsdaten und zur Validität der Berechnungsergebnisse	5
Welche Depositionsflüsse werden bei der Modellierung der Gesamtdeposition berücksichtigt?	5
In welcher Maßeinheit und mit welcher Genauigkeit werden die vorliegenden Werte angegeben?	5
Wie wird die trockene Deposition im Datensatz erfasst?	5
Wie wird die nasse Deposition im Datensatz erfasst?	6
Wie wurden die Messdaten zur nassen (Bulk-) Deposition von den Stationen der Bundesländer (Forstliches Monitoring, Immissionsmessnetz, Hydrologisches Messnetz) gesammelt und chemisch analysiert?	6
Wie erfolgte konkret ihre aufgrund vermutlich unterschiedlicher Sammler und Laboranalytik erforderliche nachträgliche Harmonisierung und zusammenfassende Auswertung?	6
Wie wird die feuchte Deposition im Datensatz erfasst?	6
Wie und warum werden die landnutzungsspezifischen Datensätze berechnet?	7
Welche Emissionsdaten liegen der Modellierung zugrunde?	7
Wie funktioniert die räumliche Zuordnung von Emissionen mit GRETA ⁹ und wie detailliert lassen sich einzelne Quellen abbilden?	8
Emissionen aus der Landwirtschaft.....	8
Emissionen aus Verbrennungsprozessen	8
Punktquellen	8
Warum sind die Emissionen einer Autobahn/Kraftwerk nicht in der Deposition auffindbar?	8
Wie wird die gewählte Rasterweite für GRETA-Rasterdaten und alle PINETI-Rasterdaten fachlich begründet.	9
Wie wurden Stickstoffverluste durch Verdunstung aus Vegetation (Kompensationspunkt) bei der Modellierung berücksichtigt?	9
Worin bestehen methodische Unterschiede gegenüber früheren Modellierungen?	10
Was ist in Bezug auf die Modellierung der Stickstoff-Deposition für die Zukunft geplant?	11
2. Fragen zu Modellergebnissen und Evaluierung	11
Wie unterscheiden sich die Depositionen aus dem PINETI-2 Datensatz vom PINETI-3 Datensatz?	11
Quantitative Unterschiede.....	11
Räumliche Unterschiede	11
Was ist der Grund für die punktuelle Abnahme der NH _x -Deposition an einzelnen Standorten im Vergleich zur Modellierung in PINETI-2?	12
Wie wurde die Qualitätssicherung der Modellergebnisse sichergestellt	12

Worauf basieren die Abweichungen zu den Kronenraumbilanzdaten, nur auf der Unsicherheit der Modellierung oder auch auf der Unsicherheit der Kronenraumbilanzen?	13
Wie groß ist das Konfidenzintervall der angegebenen Werte?	13
Wurden die im Rahmen von PINETI-III berechneten N-Depositionsmengen anhand der im Nationalen Emissionsinventar berichteten Mengen gasförmiger Emissionen von reaktiven N-Spezies verglichen? Inwieweit stimmen diese Mengen überein und können Differenzen durch grenzüberschreitende Zufuhr/Abfuhr mit der Atmosphäre aus bzw. in Nachbarstaaten erklärt werden?	14
Wie lassen sich die Unterschiede zwischen PINETI und EMEP erklären?	14
3. Fragen zu Anwendungsbereich und Genehmigungspraxis	14
Wie wird seitens UBA die Anwendung der Daten im Rahmen von Genehmigungsverfahren gesehen?	14
Wie gut werden lokale Gegebenheiten im nationalen Datensatz abgebildet?	15
In welchen Fällen wird empfohlen, die vorliegenden Daten zu korrigieren?	15
Räumliche Korrektur	15
Zeitliche Korrektur	15
Ist der anlagenspezifische Beitrag vollständig zu beaufschlagen, oder ist es zulässig den bereits in Hintergrundbelastung erfassten Beitrag von $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ abzuziehen?	16
Warum stehen die Daten nur für einen Bezugszeitraum in der Vergangenheit zur Verfügung?	16
Warum werden die Daten über drei Jahre gemittelt?	16
Warum unterscheiden sich Depositionsgeschwindigkeiten in VDI 3782 Bl.5 und in der PINETI-3 Modellierung voneinander?	16
Wie sollte bezüglich der Deposition zwischen Waldrand und Waldinnerem unterschieden werden? Wie wird in PINETI zwischen Waldrand und Waldinnerem unterschieden?	17
Warum ist der Unterschied zwischen Wald und Offenland in Immissionsprognosen meist Faktor 2 bei PINETI aber nur 20-30%?	17
4. Fragen zur Handhabung des Kartendienstes	17
Wie erfolgt die Abfrage?	17
Kann auch der gesamte Datensatz bestellt werden?	17
Wie können Standortdaten aus einem anderen Koordinatensystem in die GK-Koordinaten transformiert werden?	18
Ändern sich die Werte, je nachdem über welchen Gauß-Krüger-Streifen / UTM-Zone die Abfrage erfolgt?	18
Wieso muss im Datensatz eine Landnutzungs-kategorie ausgewählt werden?	18
Wie lassen sich die zehn aggregierten Landnutzungs-klassen dem CORINE Landcover Datensatz zuordnen	20
5. Fragen zu Critical Loads und Critical Loads Überschreitungen	21
Können die im PINETI-Projekt verwendeten Karten der Critical Loads und Critical Loads Überschreitungen für lokale Anwendungen herangezogen werden?	21

Kann durch Berücksichtigung des Kompensationspunktes in der Modellierung der Eindruck entstehen, dass auf Flächen, auf denen sich die Deposition methodisch bedingt verringert bezüglich N-Einträge keine Probleme gäbe? Wie wird dieser Sachverhalt bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt?	21
6. Weiterführende Informationen	23
BMUB/UBA-Forschungsberichte:.....	23
Externe Angebote:	23

1. Fragen zur Methodik der Modellierung, zu Eingangsdaten und zur Validität der Berechnungsergebnisse

Welche Depositionen werden bei der Modellierung der Gesamtdosition berücksichtigt?

Der Eintrag atmosphärischer Stickstoffverbindungen in Ökosysteme erfolgt über **trockene Deposition**, d. h. Ablagerung gasförmiger Stoffe oder Partikel an Oberflächen und Aufnahme von Gasen durch die Vegetation, über **nasse Deposition**, d.h. Eintrag gelöster und ungelöster Verbindungen mit dem Niederschlag, sowie über **feuchte (oder okkulte) Deposition**, d.h. Abscheidung von Stickstoffverbindungen mit Wolken- bzw. Nebeltröpfchen an Rezeptoroberflächen. Diese drei Größen zusammengenommen ergeben die Gesamtdosition, deren Werte im Kartendienst angezeigt werden. Die trockene Deposition wird ausschließlich modelliert, die nasse und die feuchte Deposition basieren auf einer Kombination von Mess- und Modellwerten. Die Massenbilanz zwischen Emission und Gesamtdosition sollte in einem idealen atmosphärenchemischen Modellsystem ausgeglichen sein.

In welcher Maßeinheit und mit welcher Genauigkeit werden die vorliegenden Werte angegeben?

Die Gesamtdosition wird mit der Maßeinheit „Kilogramm pro Hektar und Jahr“ ($\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und mit einer Genauigkeit von $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angegeben. Alternativ können Depositionen auch in „Äquivalenten pro Hektar und Jahr“ ($\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ausgewiesen werden. Die Umrechnung von Äquivalenten in Kilogramm und umgekehrt erfolgt bezogen auf das Elementgewicht von N (14 g N mol^{-1}) an der freigesetzten Verbindung. Beim Stickstoff (einfach geladen) entspricht 1 mol N, 1 Mol Protonen, d. h. 1 Äquivalent (eq). Daraus folgend, beträgt der Umrechnungsfaktor von kg Stickstoff in eq Stickstoff 71,428, d. h. 1000 g einer N-Verbindung entsprechen 71,428 Mol Protonen bzw. 71,428 eq. Bei der Überführung der eigentlichen Modellergebnisse in den Kartendienst wird die Ausgangseinheit [$\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] in die im Kartendienst angezeigte Einheit [$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] umgerechnet und anschließend auf ganze Kilogramm gerundet.

Wie wird die trockene Deposition im Datensatz erfasst?

Die trockene Deposition beruht auf der Ablagerung gasförmiger Stoffe oder Partikel an Oberflächen und der Aufnahme von Gasen durch die Vegetation. Daher hängt sie stark von den lokalen meteorologischen Parametern, den Stoffeigenschaften und den Eigenschaften des Rezeptors ab. So ist die trockene Deposition beispielsweise im Allgemeinen am Tage größer als in der Nacht und in Wäldern größer als über einer Wasseroberfläche. Die trockene Deposition kann nur mittels sehr aufwendiger und kostspieliger Technik experimentell bestimmt werden. Im Rahmen von Forschungsvorhaben werden solche „Messungen“ vereinzelt durchgeführt; eine routinemäßige messtechnische Erfassung der trockenen Deposition erfolgt jedoch nicht. Derzeit ermittelt das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des so genannten FORESTFLUX-Projekts (FE 3715 512 110) über den Zeitraum von 2 Jahren den Eintrag von reaktivem Gesamtstickstoff am Standort Forellenbach im Nationalpark Bayerischer Wald.

In PINETI wird die trockene Deposition mit dem Chemie-Transportmodell LOTOS-EUROS berechnet. Die Parameter zur Berechnung³ leiten sich aus experimentellen Untersuchungen der trockenen Deposition ab. Das Chemie-Transport-Modell simuliert alle Prozesse, die für Transport, Deposition und Umwandlung der betrachteten Stoffe wichtig sind. Es unterteilt die Atmosphäre in Zellen. Innerhalb einer solchen Zelle sind folgende Prozesse möglich:

- Import von Stoffen aus und Export in Nachbarzellen
- Import von Stoffen durch Emission (oder Reemission) und Entfernung durch trockene Deposition und Niederschlag bei Zellen, die an die Erdoberfläche grenzen
- chemische Reaktionen (z.B. Umwandlung von Ammoniak in Ammonium, Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid, etc.)

² Schwefel ist zweifach geladen, daher entspricht 1 mol S, 2 mol Protonen, d. h. 2 Äquivalent (eq). Daher muss man zur Ermittlung des Umrechnungsfaktors von kg in eq nicht durch die Molmasse (32 g S mol^{-1}) sondern durch die halbe Molmasse teilen, d. h. in 1000 g einer S-Verbindung entsprechen ca. 62,5 Mol Protonen bzw. oder ca. 62,5 eq.

³ Die Berechnung erfolgt auf Basis einer Widerstandsanalgie (<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680180001.pdf>).

Als Resultat entstehen höhenabhängige Konzentrationsfelder der einzelnen Stoffe. Die trockene Deposition unterschiedlicher Komponenten an einer Oberfläche wird entsprechend den Eigenschaften des betrachteten Rezeptors berechnet⁴. Im Modellansatz von PINETI wird vereinfacht zwischen 10 Rezeptoren unterschieden (Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Wiesen & Weideland, seminaturliches Grünland, Ackerflächen, Dauerkulturen, bebauten Gebiete, Wasserflächen, Andere). Für die räumliche Zuordnung der Landnutzung wurde der CORINE Landcover 2012 Datensatz verwendet.

Die laterale Auflösung einer Zelle des in PINETI verwendeten LOTOS-EUROS-Modells beträgt 0,125 x 0,0625 Grad (etwa 7 x 8 km²; die Rastergröße variiert zwischen 55 und 65 km²), die zeitliche eine Stunde. Die laterale Auflösung entspricht auch der maximalen Auflösung einiger Eingangsdaten, die für die Modellierung benötigt werden (Meteorologie des European Centre for Meteorology and Weather Forecast (ECMWF)⁵, europaweite Emissionen). Die pro Rastermittelpunkt ermittelten Depositionsflüsse werden anschließend – den Modellberechnungen nachgeschaltet - landnutzungsabhängig mit geostatistischen Methoden auf ein feineres 1x1 km²-Gitter verteilt.

Wie wird die nasse Deposition im Datensatz erfasst?

Die nasse Deposition ist von der Konzentration der Stickstoffverbindungen im Niederschlag sowie von der Niederschlagsmenge abhängig, im Gegensatz zur trockenen Deposition jedoch nicht von der Art des Rezeptors. In PINETI werden Messdaten der nassen Deposition aus mehreren Messnetzen in Kombination mit Berechnungsergebnissen der nassen Deposition aus dem LOTOS-EUROS Modell verwendet, um die Stickstoffkonzentration im Niederschlag flächendeckend darzustellen. Die somit anhand der Messwerte korrigierten Konzentrationsfelder werden mit Niederschlagskarten des Deutschen Wetterdienstes (Auflösung 1 x 1 km²), die auch das Höhenprofil des Geländes berücksichtigen, verschnitten, um eine flächendeckende Karte der nassen Deposition mit einer Auflösung von 1 x 1 km² zu erhalten.

Wie wurden die Messdaten zur nassen (Bulk-) Deposition von den Stationen der Bundesländer (Forstliches Monitoring, Immissionsmessnetz, Hydrologisches Messnetz) gesammelt und chemisch analysiert?

Das Monitoring und die Analytik der Nassdepositionsproben liegt in der Verantwortung der insgesamt 25 verschiedenen Messnetze, die UBA dankenswerter Weise Daten der nassen Deposition zur Verfügung stellen

Wie erfolgte konkret ihre aufgrund vermutlich unterschiedlicher Sammler und Laboranalytik erforderliche nachträgliche Harmonisierung und zusammenfassende Auswertung?

Im Rahmen der PINETI-Projekte wird eine Qualitätsbewertung der Nassdepositionsdaten durchgeführt, mit der die Datengesamtheit mit Hilfe von Ionenbilanz, Ausreißertests und Bewertung hinsichtlich Niederschlagsmenge geprüft wird.

Wie wird die feuchte Deposition im Datensatz erfasst?

Stickstoffverbindungen werden mit Wolken- bzw. Nebeltröpfchen an der Oberfläche abgeschieden. Die feuchte Deposition ist mit Ausnahme von Bergregionen im Allgemeinen von geringer quantitativer Bedeutung. Für Stickstoff beläuft sie sich auf rund 0,1 % der nationalen Gesamtdeposition. Die feuchte Deposition wurde flächendeckend nach Katata et al. (2008, 2011) parametrisiert. Dieser Ansatz geht davon aus, dass die Nebeldeposition von der Größe der Blattoberfläche beeinflusst ist, und macht für die Parametrisierung vom Blattflächenindex⁶ Gebrauch. Zudem fließen weitere Parameter wie Windgeschwindigkeit und Daten des Deutschen Wetterdienstes zum Flüssigwassergehalt (7 x 8 km²) in die Berechnungen ein. Die Stickstoffkonzentration im Wolkenwasser berechnet sich mit Hilfe aktueller Anreicherungsfaktoren aus den Konzentrationsfeldern zur Berechnung der nassen Deposition (s.o.). In einem der Modellierung nachgeschalteten Schritt werden die Ergebnisse mit geostatistischen Methoden auf ein feineres 1 x 1 km²-Gitter verteilt.

⁴ Hierbei ist zu beachten, dass sich die totale Stickstoff-Gesamtdeposition aus der nassen, der feuchten und der trockenen Deposition reduzierter und oxidierter Stickstoffspezies zusammensetzt. Es besteht daher kein linearer Zusammenhang zwischen der Immissionsituation einer Stickstoffspezies und der totalen Stickstoffgesamtdeposition.

⁵ Künftig soll im Rahmen eines weiteren UBA-Projekts versucht werden, die laterale Auflösung auf rund 2 x 2 km² zu erhöhen und einen passenden Meteorologiedatensatz des DWD zu verwenden

⁶ LAI = Leaf Area Index; Blattfläche pro Bodenoberfläche

Wie und warum werden die landnutzungsspezifischen Datensätze berechnet?

Innerhalb einer 7 x 7 km² großen Gitterzelle (aber auch innerhalb einer 1 x 1 km²-Gitterzelle) können unterschiedliche Vegetationstypen mit sich unterscheidenden Depositionsflüssen vorkommen. Die Werte in jeder 7 x 7 km²-Gitterzelle werden aus den landnutzungsabhängigen Depositionsflüssen und dem jeweiligen Anteil der entsprechenden Landnutzungsclassen innerhalb der Gitterzelle berechnet. Je Gitterzelle ergeben sich im Resultat rechnerische Mischdepositionsflüsse, die sich durch Landnutzungsverteilung, also die Anteile der Landnutzungsclassen innerhalb einer Gitterzelle, ergeben.

Für die Genehmigungspraxis ist im Gegensatz dazu die Kenntnis der Flüsse für eine einzelne Landnutzungsclassen (am Beurteilungspunkt) erforderlich. Dafür werden die landnutzungsabhängigen Depositionsdatsätze direkt benötigt. Auch für den Fall, dass ein höher aufgelöster Landnutzungsdatensatz zur Verfügung steht, können anhand landnutzungsabhängiger Depositionskarten höher aufgelöste Informationen aus den Daten gewonnen werden. Letzteres findet für die Berechnung der Überschreitungen der Critical Load unter Verwendung der CLC2012-Landnutzungsdaten statt.

Zur Erstellung der landnutzungsspezifischen trockenen Depositionskarten wird innerhalb der Modellierung angenommen, dass es in allen Gitterzellen mindestens einen Quadratmeter der 10 betrachteten LOTOS-EUROS-Landnutzungsclassen gibt. Die ermittelten Flüsse pro Landnutzungsclassen werden separat ausgeschrieben.

Für die Berechnung der Konzentrationsänderungen der Gase und Partikel durch trockene Deposition in der Modellberechnung werden die landnutzungsabhängigen Depositionsflüsse und die jeweiligen Flächen der entsprechenden Landnutzungsclassen berücksichtigt. Also, für eine Gitterzelle ohne Laubwald steht zwar ein rechnerischer Fluss für Laubwald zur Verfügung, dieser bekommt aber eine Nullgewichtung in der Modellierung der Massenbilanz im CTM.

Auf diese Weise stehen nach der Modellierung 11 Depositionsergebnisse je Gitterzelle zur Verfügung: Eine landnutzungsgewichtete Mischdeposition, die die Grundlage für die Konzentrationsänderungs- und Weitergabe an die nächsten Gitterzellen ist, und 10 landnutzungsspezifische theoretische Flüsse als Grundlage für die Mischdeposition.

Die Karten der 10 landnutzungsspezifischen Flüsse werden auf ein 1 x 1 km²-Raster interpoliert und bilden die Grundlage der Daten für den Kartendienst

Welche Emissionsdaten liegen der Modellierung zugrunde?

Als Eingangsdaten für die Modellierung werden Emissionsdaten benötigt. Neben den nationalen Emissionen werden Emissionen der anderen europäischen Länder genutzt, um den atmosphärischen Ferntransport von Stickstoffverbindungen nach Deutschland berechnen zu können. Den europäischen Emissionen liegen die Daten des TNO MACC-III European Emissionsinventars, eine Weiterentwicklung des in Europa breit verwendeten TNO-MACC-II-Inventars, mit einer Gitterzellen-Auflösung von 0,125° x 0,0625° (ca. 7 x 8 km²) zugrunde. In dieses Inventar wurden, soweit wie möglich, die offiziellen Emissionen aus der Berichterstattung der Länder an die Genfer Luftreinhaltekonvention (für Luftschadstoffe) und an die Klimarahmenkonvention (für CH₄) übernommen.

Für Deutschland wurden räumlich aufgelöste Emissionsdaten des GRETA-Systems vom UBA bereitgestellt⁷. Grundlage für die räumliche Verteilung waren die im Jahr 2017 offiziell nach den internationalen Berichtsvorschriften unter der Genfer Luftreinhaltekonvention vom Umweltbundesamt berichteten Luftschadstoffemissionen⁸. Erstmals wurden räumlich verteilte Emissionsdaten für jedes Einzeljahr 2000 – 2015 bereitgestellt, d.h. für jedes Jahr wurden die zugehörigen nationalen Jahressummen, PRTR⁹-Punktquellen und zum Jahr zeitlich passende Verteilparameter verwendet.

Die Berücksichtigung tages- und jahreszeitlicher Variationen erfolgte über entsprechende Emissionsfunktionen innerhalb des LOTOS-EUROS-Modells.

⁷ www.umweltbundesamt.de/publikationen/arcgis-basierte-loesung-zur-detaillierten

⁸ <http://cdr.eionet.europa.eu/de/un/clrtap/inventories/envwjmrhg/>

⁹ Pollutant release and transfer register

Die in einzelnen Bundesländern vorhandenen hoch auflösenden bottom up Emissionskataster stehen dem UBA nicht in harmonisierter Form zur Verfügung und konnten daher bislang nicht für die Modellierung berücksichtigt werden

Wie funktioniert die räumliche Zuordnung von Emissionen mit GRETA⁷ und wie detailliert lassen sich einzelne Quellen abbilden?

Für jede Quellgruppe, der an die Genfer Luftreinhaltekonvention berichteten Emissionen (insgesamt 127 NFR¹⁰-Sektoren), wird zunächst geprüft, welche Emissionen als Punktquellinformationen (PRTR) zur Verfügung stehen. Die daraus resultierenden Emissionsbeiträge werden von den nationalen Jahressummen jeder Quellgruppe abgezogen. Die restlichen Emissionen werden soweit möglich auf weitere Punktquellen (z.B. Flughäfen, nicht im PRTR-System) und Linienquellen (Straßen-, Schienen- und Schifffahrtswegenetz) verteilt. Die übrigen Emissionen werden über geeignete statistische Verteilparameter auf Kreisebene und weiter, unter Berücksichtigung von Landbedeckungsdaten, auf Flächenquellen-Ebene räumlich zugeordnet. Abschließend kann eine Rasterung für beliebige Gitterweiten und verschiedene Koordinatenreferenzsysteme durchgeführt werden.

Emissionen aus der Landwirtschaft

Die jährlichen Emissionsmengen aus der Landwirtschaft für Deutschland werden für die Berichterstattung im Auftrag des Umweltbundesamtes vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz berechnet. Sie setzen sich zusammen aus Emissionen der Tierhaltung und Emissionen, die bei der Bearbeitung der landwirtschaftlichen Flächen entstehen. Im GRETA-System werden die landwirtschaftlichen Emissionen je nach Quellgruppe anteilig auf die Landkreise verteilt. Im nächsten Schritt dann auf die Agrarfläche der Landkreise. Nur ein kleiner Teil der landwirtschaftlichen Betriebe, die zur Abgabe einer PRTR-Emissionserklärung verpflichtet sind, werden als Punktquellen dargestellt. Für die NH₃-Emissionen aus der Anwendung von Harnstoffbasiertem Mineraldünger wurden, wie für alle anderen Quellen auch, die in der Berichterstattungsperiode gültigen Emissionsfaktoren des EMEP-Guidebooks 2013 verwendet.

Emissionen aus Verbrennungsprozessen

Die jährlichen Emissionsmengen von Stickstoffoxiden und Schwefeldioxyden aus dem Verkehrs-, dem Energie- und dem Industriesektor sowie aus anderen Sektoren werden für die Berichterstattung an die Genfer Luftreinhaltekonvention vom Umweltbundesamt selbst berechnet. Die nationalen Jahreswerte werden mit dem GRETA-Tool auf Basis bestimmter Parameter, wie z.B. Beschäftigtenzahlen bestimmter Branchen, Landbedeckungs- oder Landnutzungsdaten oder abschnittsbezogener Gewichtungen auf Straßen-, Schienen- oder Binnenschifffahrtsnetzen verteilt.

Punktquellen

Anlagen (Industrie, Energie und Landwirtschaft) die zur Abgabe einer PRTR-Emissionserklärung verpflichtet sind, werden als Punktquellen dargestellt. Entsprechende Emissionsbeiträge werden von den jährlichen Emissionsmengen abgezogen, damit es bei der anschließenden Verteilung der Restemissionen nach Linien- oder Flächenquellen nicht zu einer Doppelzählung kommt. Für die verfügbaren Punktquellen wurden aus GRETA verschiedene Höhenlevel exportiert, d.h. bei PRTR-Anlagen wird eine Emissionshöhe abgeschätzt und die Emission einem im Modell definierten Höhenlevel zugewiesen. Je nach Emissionshöhe führt das zur kleinräumigen oder großflächigen Ausbreitung der Emissionen.

Warum sind die Emissionen einer Autobahn/Kraftwerk nicht in der Deposition auffindbar?

Die Emissionen einer einzelnen großen, berichtspflichtigen Anlage bzw. einer einzelnen, größeren Straße (z. B. BAB) lassen sich im räumlich aufgelösten Emissionsdatensatz (GRETA-Emissionen des UBA) zwar punktgenau bzw. linienscharf zuordnen und abbilden, im Zuge der rasterbezogenen Weiterverarbeitung bei der Ausgabe der Daten bzw. bei der Modellierung erfolgt jedoch eine Verteilung („Verschmierung“) auf das jeweiligen Raster. LOTOS-EUROS arbeitet mit einer Auflösung von 7 x 8 km², was dazu führt, dass Emissionen und im Resultat deren Deposition in der Regel nicht mehr punkt- oder linienscharf sichtbar sind. Bei den Punktquellen kommt noch hinzu, dass die Emissionen entsprechend

¹⁰ Nomenclature for reporting

der Anlagenart in höhere Modellschichten verteilt werden, so dass der Ferntransport zum Tragen kommt und die aus der Emission resultierende Deposition auf einen noch viel größeren Bereich (als eine Rasterzelle) verteilt wird.

Wie wird die gewählte Rasterweite für GRETA-Rasterdaten und alle PINETI-Rasterdaten fachlich begründet.

Die gewählte Rasterweite von 7 x 8 km² ist die Auflösung mit der das LOTOS-EUROS Modell für großräumige Modellierung der atmosphärenchemischen Ausbreitung arbeitet. Theoretisch kann LOTOS-EUROS auch in anderen Auflösungen operieren. Begrenzender und entscheidender Faktor für die Nutzung der 7 x 8 km² ist die Auflösung der Meteorologiedaten des European Center for Meteorology and Weather Forecast (ECMWF). Neben Wetterdaten enthalten die ECMWF-Daten auch Informationen über Geländeeigenschaften (Orographie). Im Rahmen zukünftiger Arbeiten, kann sich das UBA vorstellen, die Nutzung eines DWD-Meteorologiedatensatzes mit einer Auflösung von ca. 2,8 x 2,8 km² und eine entsprechende Anpassung des LOTOS-EUROS Modell testen zu lassen.

Wie wurden Stickstoffverluste durch Verdunstung aus Vegetation (Kompensationspunkt) bei der Modellierung berücksichtigt?

Bei der Inventarisierung von Ammoniakemissionen nach EMEP-Guidebook¹¹ für die Berichterstattung von Emissionen wird methodisch bedingt nur die Erstemission von Ammoniak aus landwirtschaftlichen Aktivitäten inklusive Düngung berücksichtigt. Diese nationalen Jahreswerte werden über GRETA und Zeitprofile im LOTOS-EUROS Modellsystem räumlich und zeitlich verteilt. Die Reemission von Ammoniak aus der Vegetation ist abhängig von der Konzentration von Ammoniak in der Atmosphäre und kann wegen dieser Abhängigkeit in der Inventarisierung nach EMEP-Guidebook nicht berücksichtigt werden.

In der LOTOS-EUROS Modellierung wird der bidirektionale Austausch zwischen Vegetation und Atmosphäre über den Kompensationspunkt berücksichtigt. Ammoniak-Lösungen besitzen einen Dampfdruck. Die atmosphärische Konzentration, die dazu gehört ist der Kompensationspunkt. Der Austausch wird bestimmt durch die Austauschgeschwindigkeit (V_d) und den Konzentrationsunterschied zwischen der atmosphärischen Konzentration und dem Kompensationspunkt. Daher kann es zu Emissionen aus dem Bestand kommen, wenn die atmosphärische Konzentration geringer ist, als der Dampfdruck ($F = V_d * (C_{atm} - C_{comp})$). Deposition findet statt, wenn die atmosphärische Konzentration höher ist als der Dampfdruck.

In der Modellierung wird auf die lufttemperaturabhängige Berechnung des Kompensationspunkts für NH₃ nach Wichink Kruit et al. (2012)¹² zurückgegriffen. Bisher ist LOTOS-EUROS das einzige europäische Chemietransportmodell, in dem der Kompensationspunkt berücksichtigt wird. Diese Parametrisierung des Kompensationspunktes wird in der UBA-Modellierung der trockenen Deposition seit PINETI-2 für die Deposition in Stomata und auf Blattoberflächen verwendet, d. h. auch die Depositionsdaten mit dem Bezugsjahr 2009 wurden schon mit Kompensationspunkt modelliert. Die lufttemperaturabhängige Berechnung des Kompensationspunkt erfolgt in Abhängigkeit der aktuellen Ammoniakkonzentration (für Blattoberflächen) und mittleren Ammoniakkonzentration des letzten Monats (für Stomata) und wird basierend auf Flussmessungen¹² in allen Landnutzungsklassen einheitlich umgesetzt¹³.

Für die Ergebnisse der trockenen Deposition bedeutet es, dass der Kompensationspunkt die effektive Deposition (Geschwindigkeit) insbesondere in NH₃-Quellregionen verringert. Im Verlauf der zeitlich hoch aufgelösten Berechnungen (und so auch in der Realität), kann es in solchen Regionen sogar tagsüber zur zusätzlichen Emission von NH₃ aus der Vegetation kommen. Das bedeutet, dass sich effektiv der Ferntransport von NH₃ vergrößert und NH₃ von landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen in Gebiete mit geringer landwirtschaftlicher Nutzung verlagert werden (Abbildung 1). Da der Kompensationspunkt nur für die trockene Deposition maßgeblich ist, verschiebt er auch das Verhältnis

¹¹ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/>

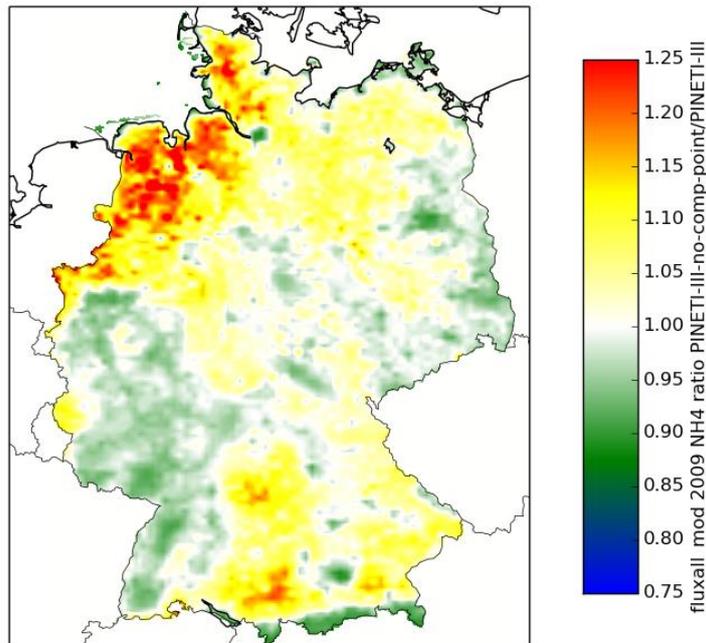
¹² Wichink Kruit, R. J., et al. (2010). "Modeling the surface-atmosphere exchange of ammonia." *Atmospheric Environment* 44(7): 945-957

Wichink Kruit, R. J., et al. (2012). "Modeling the distribution of ammonia across Europe including bi-directional surface-atmosphere exchange." *Biogeosciences* 9(12): 5261-5277.

¹³ van Zanten, M. C., et al. (2010). *Description of the DEPAC module : Dry deposition modelling with DEPAC_GCN2010*. Bilthoven, Netherlands, TNO.

von trockener zu nasser Deposition: Während die trockene Deposition von NH_x in Quellregionen abnimmt, steht mehr Ammoniak für nasse Deposition zu Verfügung. In Bezug auf die mittlere Gesamtd deposition ist aber nur eine Abnahme in Höhe von nur bei 3-4 % gegenüber der Modellierung ohne Kompensationspunkt zu verzeichnen.

Abbildung 1: Verhältnis der mit dem PINETI-3-Instrumentarium mit und ohne Kompensationspunkt modellierten Flüsse der Gesamtd deposition für das 2009 zur Veranschaulichung des Effekts des Kompensationspunktes



Quelle: eigene Darstellung, TNO

Worin bestehen methodische Unterschiede gegenüber früheren Modellierungen?

Neben der jeweils vorliegenden Emissionsmengen und erstmalig in PINETI-3 verwendeten Emissionsverteilung mit GRETA, wurde auch die Methodik zur Depositionmodellierung im Rahmen des PINETI-3-Projekts geringfügig weiterentwickelt und an den Stand der Wissenschaft angepasst. Darüber hinaus wirken sich meteorologische Schwankungen zwischen verschiedenen Jahren (z.B. Niederschlagsmengen) sich auf die Höhe der Deposition aus.

Folgende methodische Veränderungen gegenüber PINETI-2 (LOTOS-EUROS Modellversion 1.10) wurden in PINETI-3 (LOTOS-EUROS Modellversion 2.1) aufgenommen:

Winterpause für Ackerland: Für die Landnutzungsclass e Ackerland werden nun zwei unterschiedliche Werte für die Rauigkeitslänge (z_0) in der Modellierung verwendet: 0,1 während der Wachstumsphase (bisheriger Standardwert) und 0,013 außerhalb der Anbauphase für unbebautes Ackerland im Winter. Dadurch wird die trockene Deposition auf Ackerland reduziert, während sie für andere Landnutzungsclass en etwas höher ausfällt.

Anpassung der Methode zur Bestimmung der durchschnittlichen Rauigkeitslänge (z_0) der einzelnen Gitterzellen: Für die Berechnung von landnutzungsspezifischen Stabilitätsparametern anhand der ECMWF Meteorologie ist es notwendig einen effektiven z_0 -Wert für einzelne Gitterzellen zu berechnen. Dieser setzt sich zusammen aus den landnutzungsspezifischen z_0 -Werten. Die Anpassung der Berechnungsmethode für den durchschnittlichen Wert von z_0 führt zu einer insgesamt rechnerisch erhöhten trockenen Deposition in Deutschland.

Andere Berechnungsmethode für die atmosphärische Stabilität: Der Vergleich von Modell- und Messwerten des täglichen Verlaufs von Konzentrationen hatte gezeigt, dass Modellwerte nicht im Einklang mit Messwerten waren. Durch Anpassung der Berechnung für die atmosphärische Stabilität baut sich in der Modellierung nun die Mischungsschicht morgens schneller auf und abends schneller

wieder ab. Das führt dazu, dass bodennahe Konzentrationen morgens schneller mit höher gelegenen Schichten vermischt werden, während dieser Prozess nachts langsamer verläuft. Die Auswirkungen auf die trockene Deposition sind allerdings gering.

Anpassung der meteorologischen Daten an den aktuellen Stand der Wissenschaft: Die horizontale und vertikale Auflösung der ECMWF Meteorologiedaten wurde verfeinert. Dadurch wurden die mit dem Modell erzeugten Simulationen detailreicher; dies gilt insbesondere über Gebieten mit sehr unterschiedlichen Wetterbedingungen wie zum Beispiel Küsten- und Bergregionen.

Was ist in Bezug auf die Modellierung der Stickstoff-Deposition für die Zukunft geplant?

Die dringlichsten offenen Fragen und methodischen Weiterentwicklungen sieht das UBA in folgenden Punkten:

- Detaillierung der Emissionsdaten in Bezug auf räumliche und zeitliche Verteilung
- Modellierung von Depositionsszenarien für das Jahr 2030 u.a. um mögliche Erfolge der Verpflichtungen der NEC-Richtlinie in Bezug auf Critical Load Überschreitungen einschätzen zu können
- Evaluierung der Modellierung der Stickstoffdeposition anhand von Flux-Messungen des gesamten reaktiven Stickstoffs an verschiedenen Standorten
- Analyse der Abweichungen zwischen Modell- und Messdaten, insbesondere beim NO_y z.B. durch Hinzuziehung von Satellitendaten bzw. von Detailinformationen anderer Modelle
- Erhöhung der räumlichen Auflösung des LOTOS-EUROS-Modells für die Modellierung in Deutschland und Anpassung an die Auflösung der Meteorologie-Daten des DWD in Höhe von ca. $2,8 \times 2,8 \text{ km}^2$

2. Fragen zu Modellergebnissen und Evaluierung

Wie unterscheiden sich die Depositionen aus dem PINETI-2 Datensatz vom PINETI-3 Datensatz?

Quantitative Unterschiede

Im Vergleich der PINETI-2- mit den PINETI-3-Daten für Gesamtstickstoff für das Jahr 2009 erhöhte sich die ermittelte Gesamtdosition im Durchschnitt über Deutschland und für alle Landnutzungsklassen etwa 4% ($1057 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (PINETI-2) gegenüber $1101 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (PINETI-3)). Hier wirken sich u.a. die systematisch höheren NH_3 -Emissionen der Emissionsberichterstattung 2017 gegenüber der Emissionsberichterstattung 2014 aus. Der 3-Jahresmittelwert der Jahre 2013-2015 des neuen gültigen Datensatzes liegt mit $1044 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ etwa 1 % niedriger als der Mittelwert des Jahres 2009 des bisher gültigen Datensatzes.

Mit Blick auf die einzelnen Landnutzungsklassen zeigt sich, dass sich der Kontrast zwischen den Waldklassen und Ackerland verstärkt hat. Während im Vergleich des Jahres 2009 Laub-, Nadel- und Mischwald um 5 %, 6 % und 6 % zunehmen, bleibt N-Gesamtdosition über Ackerland konstant. Die systematisch erhöhten NH_3 -Emissionen führen in der Landnutzungsklasse Ackerland über Deutschland gemittelt trotzdem zu keiner Erhöhung der Deposition, weil die Rauigkeit für Ackerland jetzt einem saisonalen Faktor unterliegt, der für die Wintermonate geringer ausfällt. Eine geringere Vegetationslänge beziehungsweise Rauigkeit führt zu einer niedrigeren Deposition. Die niedrigere Deposition auf Ackerland sorgt für eine längere atmosphärische Verweilzeit, größere Transportabstände im Winter und damit erhöhte Deposition in anderen Landnutzungsklassen. Beim Vergleich des jetzt gültigen Datensatzes 2013-2015 mit dem bisher gültigen Datensatz 2009 auf Ebene der Landnutzungsklassen zeigt sich bei der Landnutzungsklasse Ackerland ein Rückgang von 5 % und bei den Waldlandnutzungsklassen nur sehr geringe Unterschiede im Bereich von +/- 1 %. In den letzten Zahlen drückt sich auch der Emissionsrückgang zwischen 2009 und 2015 aus.

Räumliche Unterschiede

Das räumliche Muster der Deposition über Deutschland hat sich im Vergleich des Jahres 2009 zwischen PINETI-2 und PINETI-3 teilweise verändert. In Bezug auf die NO_y -Gesamtdosition sind die Unterschiede eher klein, nur in Gebieten mit hoher NO_y -Emission kommt es zu einer stärkeren

Deposition. In Bezug auf die NH_x -Gesamtdeposition erhöht sich die Deposition vor allem im Nordosten und im äußersten Süden Deutschlands. Diese Zunahmen in Gebieten, in denen viel Landwirtschaft betrieben wird, können zwischen 30 bis 50 % betragen, während die Deposition an einigen anderen Orten um 20 % geringer ausfällt. In beiden Fällen ist dies vor allem eine Folge der Veränderungen in den geografischen Emissionsmustern, im Zuge der Umstellung des räumlichen Emissionsdatensatzes von PAREST auf GRETA und im Zuge der veränderten Gesamtemissionsmengen durch unterschiedliche Berichterstattung (s.o.). Bei der NH_x -Deposition ist die zu beobachtende Verschiebung in den Wald-Landnutzungsklassen ausgeprägter als in der Landnutzungsklasse Ackerland. Letzteres ist ein zusätzlicher Effekt, der auf die Verwendung der vegetationszeitabhängigen Rauigkeitslänge in der Landnutzungsklasse Ackerland zurückzuführen ist.

Einzelne deutliche punktuelle Abnahmen der NH_x -Gesamtdeposition, die sich in allen Landnutzungsklassen abbilden, sind ausschließlich auf die geänderten Emissionsdatensätze zurückzuführen. Während in PAREST die NH_3 -Emissionen für Punktquellen alle in die unterste Modellschicht eingespeist wurden (bodennahe Quellen), gehen die Emissionen von Stickstoffwerken nun in eine höhere Modellschicht ein, so dass sie sich anders verteilen und es zu insgesamt niedrigeren modellierten Konzentration und Deposition kommt. Ein weiterer Aspekt ist, dass Punktquellen im GRETA-Datensatz nun realistischer berücksichtigt werden und die Emissionen in der Auflösung $1 \times 1 \text{ km}^2$ ausschließlich der Rasterzelle, in der die Anlage liegt, zugeordnet werden. Im Ergebnis dieser räumlichen Verbesserung der Emissionsdaten ist der lineare Zusammenhang von Modelldaten der NH_3 -Konzentration im Vergleich mit gemessenen NH_3 -Konzentrationen nun näher an der 1:1-Linie als bisher. Insgesamt ist das Bestimmtheitsmaß der Korrelation $r^2=0,31$.

Auch die Berücksichtigung von Messdaten bei der Modellierung der nassen Deposition durch Residual Kriging verändert das räumliche Muster der Deposition von Stickstoff im Vergleich zur reinen Modellierung mit dem LOTOS-EUROS Modellsystem.

Für NO_y lässt sich ein Einfluss der Messdaten insbesondere in Mittelgebirgsregionen und im Nordosten Deutschlands erkennen, wo die Endergebnisse der nassen Deposition im Vergleich zu den Modellergebnissen von LOTOS-EUROS (ohne Residual Kriging), insbesondere als Folge des höheren Detailgrades der Niederschlagsdaten, erhöht sind.

Beim NH_x beeinflussen die Messwerte der nassen Deposition das Endergebnis, insbesondere im Süden Deutschlands in umgekehrter Weise. Hier liegt das Endergebnis der nassen NH_x -Deposition im Vergleich zu den reinen Modellergebnissen von LOTOS-EUROS (ohne Residual Kriging) deutlich niedriger. Das heißt, die Modellierung überschätzt dort die gemessene nasse Deposition. Im Vergleich zu PINETI-2 haben sich durch das Residual Kriging und die Mitnahme der Messdaten der nassen Deposition die generierten Unterschiede außer in Bayern und Baden-Württemberg verringert.

Was ist der Grund für die punktuelle Abnahme der NH_x -Deposition an einzelnen Standorten im Vergleich zur Modellierung in PINETI-2?

Einzelne deutliche punktuelle Abnahmen der NH_x -Gesamtdeposition, die sich in allen Landnutzungsklassen abbilden, sind ausschließlich auf die geänderten Emissionsdatensätze zurückzuführen. Während in PINETI-2 eine Emissionsverteilung auf den Emissionsdaten des PAREST-Projekts beruhte verwendet wurde, wird in PINETI-3 ein räumlicher Datensatz der Emission verwendet, der mit dem GRETA-Tool am Umweltbundesamt transparent und nachvollziehbar erstellt wurde. Während in PAREST die NH_3 -Emissionen für Punktquellen alle in die unterste Modellschicht eingespeist wurden (bodennahe Quellen) gehen die Emissionen von Stickstoffwerken nun in eine höhere Modellschicht ein, so dass sie sich anders verteilen und es zu insgesamt niedrigeren modellierten Konzentration und Deposition kommt. Ein weiterer Aspekt ist, dass Punktquellen im GRETA-Datensatz nun realistischer als Punktquelle berücksichtigt werden und die punktförmigen Emissionen in der Auflösung $1 \times 1 \text{ km}^2$ nur noch ausschließlich der Rasterzelle, in der die Anlage liegt, zugeordnet werden.

Wie wurde die Qualitätssicherung der Modellergebnisse sichergestellt

Zur Qualitätssicherung und zum besseren Verständnis der Modellergebnisse wurden diese mit

- Resultaten früherer nationaler Berechnungen,
- Depositionsschätzungen aus Intensivmesskampagnen (z.B. aus dem ICP Integrated Monitoring),
- Depositionsmodellierung von EMEP,

- Depositionmodellierungen aus Nachbarländern Dänemark und Niederlande
- Luftkonzentrationsmessungen von Ammoniak sowie Schwefel- und Stickstoffdioxid und
- Messungen der nassen Deposition an EMEP-Standorten in Deutschland
- Depositionsschätzungen auf Basis von Messungen des Beständniederschlags (Kronenraumbilanzen)

verglichen. Die Vergleiche mit Messdaten zeigen eine vergleichbare Übereinstimmung der PINETI-3 Modellergebnisse mit den PINETI-2-Daten. Beim Vergleich mit den Kronenraumbilanzdaten ließ sich die räumliche Korrelation steigern. Beim Vergleich mit EMEP-Daten zeigt sich, dass sich die PINETI-3-Zeitreihe sehr gut in die EMEP-Berechnungen aus dem Jahr 2013 einfügen, während die EMEP-Berechnung von 2016 unterschritten werden. Der Minderbefund im Vergleich zu den aktuellen EMEP-Ergebnissen lässt sich vor allem durch eine ungefähr 30 Prozent niedrigere aus NO_y -Deposition erklären. Eine Ursachenanalyse ist für das Nachfolgeprojekt geplant. In Bezug auf NH_x stimmen die Werte des EMEP-Modells sehr gut mit den in PINETI-3 berechneten Depositionen überein.

Worauf basieren die Abweichungen zu den Kronenraumbilanzdaten, nur auf der Unsicherheit der Modellierung oder auch auf der Unsicherheit der Kronenraumbilanzen?

Die Möglichkeiten und Grenzen der vorliegenden nationalen Modellierung zeigt der Vergleich der modellierten Gesamtdeposition mit Daten der Kronenraumbilanzen an Waldmonitoringstandorten der Länder und des ICP Forest Level-2 Netzwerks¹⁴. Beim Datenvergleich an insgesamt 94 Standorten in den Jahren 2000-2015 weisen die modellierten Werte eine geringere Variabilität auf, als die auf Messungen des Beständniederschlags basierenden Kronenraumbilanzen. Kleinräumige lokale Besonderheiten, wie z.B. stark erhöhter Eintrag durch Nebel, starke Schwankungen im Höhenprofil des Geländes (Orographie), abrupte Änderungen in der Landnutzung, können durch die nationale Modellierung nicht erfasst werden. Doch auch die Kronenraumbilanzen weisen Unsicherheiten auf. Insgesamt gibt es drei Methoden zur Berechnung der Kronenraumbilanz: a) Ulrich (1991) Rechenweg zur Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen - Identifizierung der sie bedingenden Prozesse; b) Draaijers & Erisman (1995) A canopy budget model to assess atmospheric deposition from throughfall measurements; c) De Vries et al. (2001) Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Mit jeder Methode kommt man zu einem anderen Ergebnis und alle Methoden enthalten in sich eine Unsicherheit zur Abschätzung der Aufnahme von Stickstoffverbindungen durch die Krone.

Wie groß ist das Konfidenzintervall der angegebenen Werte?

Mess- und Modellresultate sind stets mit Unsicherheiten behaftet. Im Rahmen des PINETI-1-Projekts wurde die Unsicherheit der deutschlandweiten mittleren Gesamtdeposition mit $\pm 30\%$ abgeschätzt. Die Schätzung beruht auf Sensitivitätsanalysen, Expertenschätzungen sowie Vergleichen mit Messungen und anderen Modellen. Die Größenordnung von 30 % entspricht dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft und den rechtlichen Anforderungen an die Genauigkeit von Jahresdurchschnittswerten aus Modellrechnungen (vgl. z.B. EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG). Die Unsicherheit wird dominiert durch die Berechnung der trockenen Deposition.

Innerhalb einer Rasterzelle und in orographisch stark gegliedertem Gelände liegt die modellbedingte Unsicherheit sehr viel höher. So kann die Unsicherheit innerhalb einer Gitterzelle mit einer Auflösung von $7 \times 8 \text{ km}^2$ 30-50 % betragen. Damit liegt die Unsicherheit in der gleichen Größenordnung wie bei vergleichbaren Modellen, die in Großbritannien, Dänemark oder den Niederlanden Anwendung finden. Durch Interpolation der trockenen Deposition auf die höhere Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ kann die Unsicherheit noch zu nehmen.

Da die vorliegenden Daten den aktuellsten Stand der Wissenschaft darstellen, wurden die Unsicherheiten bei gegebener Auflösung auf das derzeit kleinstmögliche Maß reduziert („best estimate“).

¹⁴ Intensivmonitoring des [ICP Forest](#) der Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP)

Wurden die im Rahmen von PINETI-III berechneten N-Depositionsmengen anhand der im Nationalen Emissionsinventar berichteten Mengen gasförmiger Emissionen von reaktiven N-Spezies verglichen? Inwieweit stimmen diese Mengen überein und können Differenzen durch grenzüberschreitende Zufuhr/Abfuhr mit der Atmosphäre aus bzw. in Nachbarstaaten erklärt werden?

In einer ersten Abschätzung wurde zusammen mit PINETI-3 Depositionsdaten, mit EMEP-Daten zum grenzübergreifenden Transport von Luftverunreinigungen und nationalen Emissionsdaten eine überschlägige Bilanz aufgestellt. Dafür wurde die Summe der Emissionen von NO_x und NH_3 in Deutschland und des grenzüberschreitenden atmosphärischen Imports (ca. 1190 kT N a^{-1}) der Summe des grenzüberschreitenden atmosphärischen Exports und der Deposition von NO_x und NH_x über Deutschland gegenübergestellt (ca. 1060 kT N a^{-1}). Die nationalen Emissionsdaten bilden für beide Modellierungen nach PINETI-3 und EMEP eine vergleichbare Grundlage. Es tut sich dennoch eine rechnerische Lücke von $\sim 10\%$ bei dem Vergleich auf, die vor allem auf Unterschiede beim NO_x zurückzuführen ist. Diese Abweichung ist nicht optimal und begründet sich durch die Verwendung zweier unterschiedlicher Modelle für die Aufstellung dieser Bilanz. In PINETI wird die nasse Deposition z.B. anhand von Messdaten skaliert. Ein Unsicherheitsbereich von $\sim 10\%$ beim Vergleich zweier großräumiger Modelle ist nicht optimal, liegt aber in der gängigen Größenordnung für Unterschiede in Modellvergleichsstudien. Darüber hinaus liegt der Wert von 10% auch im Bereich von Datenqualitätszielen für die Luftqualitätsbeurteilung mit Hilfe von Modellierungen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass effektiv etwa 60% der nationalen NH_3 - und ca. 45% der nationalen NO_x -Emissionen in Deutschland deponieren. Insgesamt betrachtet ist Deutschland also ein Netto-Exporteur von Luftschadstoffen. Vereinfacht kann dies damit begründet werden, dass Deutschland eine hohe Emissionsdichte aufweist, ein großer Teil der Emissionen in den atmosphärischen Ferntransport übergeht (u.a. durch Partikelbildung) und die vorherrschende Windrichtung Süd-West ist (während Hotspots der Emissionen im Nord-Westen und Süd-Osten liegen).

Wie lassen sich die Unterschiede zwischen PINETI und EMEP erklären?

In Modellvergleichsstudien wurden beide Modelle ausführlich getestet und miteinander verglichen. Alles in allem sind das EMEP Modell und LOTOS-EUROS ziemlich konsistent. Es gibt durchaus größere Unterschiede zwischen anderen Modellen.

Grund für Abweichungen sind unterschiedliche Eingangsdaten und Prozessbeschreibungen: EMEP rechnet mit einer anderen Emissionsverteilung, eigenen Zeitparametern und anderen Annahmen zu natürlichen Quellen. Darüber hinaus unterscheiden sich die horizontale und die vertikale Auflösung. Unterschiede in den Berechnungsergebnissen sind daher zu erwarten und lassen sich teilweise mit diesen Faktoren erklären. Ein weiterer wichtiger Unterschied ist, dass LOTOS-EUROS den Kompensationspunkt für Ammoniak berücksichtigt, wodurch sich die NH_x Depositionsverteilung verändert. EMEP hat den Kompensationspunkt nicht implementiert, setzt aber die Deposition auf Agrarflächen gleich null. Darüber hinaus wird in PINETI die nasse Deposition in Form von Messdaten und hochaufgelösten Niederschlagsdaten genutzt. Diese Praxis verändert die modellierten Felder von LOTOS-EUROS teilweise erheblich. Die Teilnahme beider Modelle an einer internationale Vergleichsstudie zur Modellierung von (trockenen) Depositionsflüsse ist für 2019 geplant¹⁵.

3. Fragen zu Anwendungsbereich und Genehmigungspraxis

Wie wird seitens UBA die Anwendung der Daten im Rahmen von Genehmigungsverfahren gesehen?

Aus Sicht des UBA spiegeln die großräumigen Daten den aktuellen Stand der Wissenschaft unter Berücksichtigung international anerkannter Methoden wider. Im Zuge von PINETI-3 konnten einige methodische Anpassungen implementiert werden (z. B. Emissionsverteilung, Anpassung der Rauigkeitslänge von Ackerland). Das neue Angebot eines 3-Jahresmittelwertes führt zu erhöhter Robustheit gegenüber bisherigen, von interannuellen meteorologischen Schwankungen beeinflussten Jahresdaten. Der Vergleich mit Mess- und anderen Modelldaten zeigt im Großen und Ganzen zufriedenstellende Übereinstimmung. Trotz lokal nicht auszuschließender Abweichungen zwischen

¹⁵ Im Rahmen des AQMEII-Netzwerks (Air Quality Modelling International Initiative am JRC)

Modell- und Messwerten (z. B. zu Kronenraumbilanzdaten in Baden-Württemberg) stellt das UBA die Daten über den Kartendienst zur Anwendung in Genehmigungsverfahren zur Verfügung und vertritt diese Position auch im Bund-Länder Fachgespräch Stickstoff-Deposition und im LAI Ausschuss für Luftqualität, Wirkungsfragen und Verkehr.

Wie gut werden lokale Gegebenheiten im nationalen Datensatz abgebildet?

Die Möglichkeiten und Grenzen der vorliegenden nationalen Modellierung zeigt der Vergleich der modellierten Konzentrationen mit Konzentrationsmesswerten bzw. der modellierten Gesamtdeposition mit Daten der Kronenraumbilanzen an Waldmonitoringstandorten der Länder und des ICP Forest Level-2 Netzwerks¹⁴. Beim Datenvergleich an insgesamt 94 Standorten aus den Jahren 2000-2015 weisen die modellierten Werte eine geringere Variabilität auf, als die auf Messungen des Beständniederschlags basierenden Kronenraumbilanzen. Kleinräumige lokale Besonderheiten, wie z.B. stark erhöhter Eintrag durch Nebel, starke Schwankungen im Höhenprofil des Geländes (Orographie), abrupte Änderungen in der Landnutzung, können durch die nationale Modellierung nicht erfasst werden. Dies lässt sich auch am Beispiel eines Waldes illustrieren: Die Modellierung beruht auf der Annahme der horizontalen Homogenität. Durch Feldexperimente und theoretische Studien ist aber bekannt, dass die Deposition gasförmiger Luftschadstoffe am Waldrand höher ist als im Wald selbst¹⁶: Dieser Effekt wird in der nationalen Modellierung nicht abgebildet. Wird also z.B. ein sehr kleines Waldstück oder ein besonders exponierter Standort betrachtet, so müssen ggf. Aufschläge berücksichtigt werden.

Gleiches gilt für die Deposition im Nahbereich von Emissionsquellen. Insbesondere bei Ammoniak wird ein beträchtlicher Teil der emittierten Menge quellnah (im Umkreis von wenigen Kilometern) deponiert. Die verbleibende Menge reagiert zu Ammonium und unterliegt dem Ferntransport. Durch die hohe Depositionsgeschwindigkeit von Ammoniak wird dieser Effekt grundsätzlich berücksichtigt. Die emittierte Menge wird aber auf die gesamte Zelle verteilt, weshalb auch die daraus resultierende Nahdeposition nicht punktscharf abgebildet und in unmittelbarer Quellnäher deutlich unterschätzt wird.

In welchen Fällen wird empfohlen, die vorliegenden Daten zu korrigieren?

Räumliche Korrektur

Da die Daten aufgrund der Auflösung der Emissionen einzelquellspezifische Nahdepositionen nicht abbilden, wird für die Ermittlung der Vorbelastung in Genehmigungsverfahren empfohlen, die Daten um die Nahbereichsdeposition relevanter Emittenten (die durch die Gutachter gesondert zu ermitteln ist) zu korrigieren. Dies reflektiert auch die Empfehlungen der verantwortlichen Bund-Länder-Gremien¹⁷. Um zu beurteilen, ob eine Quelle ausreichend in der Hintergrundbelastung abgebildet ist, wird empfohlen, entsprechend der Genauigkeit des vorliegenden Datensatzes eine Schwelle von $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ heranzuziehen (vorläufiger Wert in Erprobung). Liegt demnach das Beurteilungsgebiet im Bereich einer Emissionsquelle, in dem die einzelquellspezifische Deposition mindestens $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ beträgt¹⁸, wird empfohlen, die Belastung dieser Einzelquelle im Beurteilungsgebiet zu ermitteln und zu den Werten aus dem hier vorliegenden Datensatz hinzuzuaddieren.

Zeitliche Korrektur

Die bei der Modellierung verwendeten Emissionsdaten beziehen sich auf die Jahre 2013-2015. Zur Ermittlung der Vorbelastung in FFH-Verträglichkeitsprüfungen wird empfohlen auch solche Emissionsquellen zu betrachten, die nach dem o. g. Bezugszeitpunkt in Betrieb gegangen sind oder genehmigt wurden. Analog zum Vorgehen zur Berücksichtigung lokaler Quellen (siehe oben) wird auch hier empfohlen, nur solche Anlagen zu berücksichtigen, deren Deposition im Beurteilungsgebiet wenigstens $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ beträgt.

¹⁶ Die Größenordnung hängt von den jeweiligen Gegebenheiten ab (insbesondere von der Länge der freien Anströmung, z.B. über eine Wiese).

¹⁷ Bund-Länder Fachgespräch N-Deposition (LAI), FGSV-Arbeitskreis 2.12.2 "Stickstoff in der FFH-VP", „LAI/LANA-Arbeitskreis Stickstoff“

¹⁸ Zur Ermittlung des Korrekturbereichs von $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ kann VDI-Richtlinie 3783 Blatt 15 z. B. auch nach Screening-Verfahren des LAI-Leitfadens zur Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen vorgegangen werden

Ist der anlagenspezifische Beitrag vollständig zu beaufschlagen, oder ist es zulässig den bereits in Hintergrundbelastung erfassten Beitrag von $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ abzuziehen?

Auf Grund der bisherigen Auflösung von $7 \times 8 \text{ km}^2$ können einzelne Emissionsquellen nicht ausreichend abgebildet werden, sondern die Emissionen einer einzelnen Anlage werden auf die 56 km^2 der Rasterauflösung „verschmiert“. Auf Grund dieser starken Verschmierung einzelner Quellen geht man bisher davon aus, dass der Anteil einer einzelnen Quelle an der Hintergrunddeposition so gering ist, dass sich die nochmalige explizite Berücksichtigung ihres Depositionsbeitrags oder eines Anteils im Rahmen des Gutachtens nicht oder nur vernachlässigbar als Doppelzählung auswirkt. Daher ist der komplette anlagenspezifische Depositionsbeitrag vollständig zu beaufschlagen

Warum stehen die Daten nur für einen Bezugszeitraum in der Vergangenheit zur Verfügung?

Da die Berechnung der Gesamtdeposition eine umfangreiche Datenaufbereitung und –modellierung erfordert, stehen die Daten für das aktuellste Bezugsjahr erst ungefähr drei Jahre später zur Verfügung. Bei den Eingangsdaten besteht besonders bei den Emissionsdaten und bei den Messdaten der nassen Deposition immer ein zeitlicher Verzug. Emissionen werden mit aktuellen statistischen Daten inventarisiert, so dass zum Zeitpunkt der Berichterstattung (z.B. 2018) der aktuellste berichtete Jahrgang zwei Jahre davor liegt (2016). Bei den Messdaten der nassen Deposition handelt es sich um Jahresmittelwerte. Nach Abschluss der Messungen eines Jahres, müssen die Proben analysiert und die Ergebnisse Datenbanktechnisch erfasst werden, bevor sie von den Messnetzen an das UBA als Nutzer weitergegeben werden können. Auch dieser Prozess führt zu einem Zeitversatz von bis zu zwei Jahren. Nicht zuletzt sind noch die projektinterne Arbeit und der Zeitraum für Qualitätssicherung, Abstimmung und Veröffentlichung zu kalkulieren.

Warum werden die Daten über drei Jahre gemittelt?

Bisher wurden die Daten im Kartendienst immer für ein einzelnes ausgewähltes Bezugsjahr angegeben: 2007 für den MAPESI-Datensatz und 2009 für den PINETI-2 Datensatz. Das hatte den Nachteil, dass die meteorologische Situation dieses Einzeljahres (z.B. hohe Niederschläge in einer bestimmten Region) bedeutenden Einfluss auf die Höhe der angegebenen Werte haben konnte. Im Rahmen des PINETI-3 Projektes ist erstmals eine lange methodisch konsistente Zeitreihe der Deposition für die Jahre 2000-2015 modelliert worden. Diese Zeitreihe ermöglicht es, Mittelwerte mehrerer Jahre für den Vollzug anzubieten. Evaluierungen im Projektablauf haben gezeigt, dass der 3-Jahresmittelwert die robusteste Grundlage für politische Entscheidungen und den Vollzug in der Genehmigungspraxis darstellt. Im Vergleich zu den bisher üblichen Jahreswerten, kann mit dem 3-Jahresmittelwert der Einfluss von interannuellen, meteorologischen Schwankungen auf die Höhe der Stickstoffdeposition vermindert werden, ohne den Einfluss von Emissionstrends auf die Höhe der Stickstoffdeposition zu stark zu glätten.

Warum unterscheiden sich Depositionsgeschwindigkeiten in VDI 3782 Bl.5 und in der PINETI-3 Modellierung voneinander?

Die Werte der VDI-Richtlinie basieren auf einem Literatur-Review, der vor 2006 durchgeführt wurde. Die Literaturwerte, die in der VDI-Richtlinie ausgewertet wurden, sind in vielen Fällen repräsentativ für Situationen tagsüber im Sommerhalbjahr, während die LOTOS-EUROS Modellierung das ganze Jahr und ganze Tagesgänge betrachtet. Außerdem berücksichtigt LOTOS-EUROS den Kompensationspunkt für Ammoniak. Modellierungen, die zum damaligen Zeitpunkt in die Auswertung der VDI-Richtlinie eingeflossen sind, beinhalteten in der Regel noch keine Parametrisierung des Kompensationspunktes. Nicht zuletzt enthält die VDI-Richtlinie mittlere und keine effektiven Depositionsgeschwindigkeiten, wie die in PINETI-3 angegebenen Werte. Mittlere Depositionsgeschwindigkeiten sind normalerweise höher als die Effektiven. Das liegt an der Berechnung aus Jahresfracht und Jahreskonzentration. Dabei fließt auch der Kompensationspunkt in die Berechnung ein. Daher ist die effektive Depositionsgeschwindigkeit oder Austauschgeschwindigkeit vor allem in Quellgebieten von Ammoniak deutlich geringer als die mittlere Depositionsgeschwindigkeit.

Wie sollte bezüglich der Deposition zwischen Waldrand und Waldinnerem unterschieden werden? Wie wird in PINETI zwischen Waldrand und Waldinnerem unterschieden?

Durch Feldexperimente und theoretische Studien ist bekannt, dass die Deposition gasförmiger Luftschadstoffe am Waldrand höher ist als im Wald selbst¹⁹. Dieser Effekt wird in der nationalen Modellierung mit dem LOTOS-EUROS-Modell im UBA-Projekt PINETI-3 nicht abgebildet. Wird also z.B. ein sehr kleines Waldstück oder ein besonders exponierter Standort betrachtet, so müssen ggf. Aufschläge berücksichtigt werden. Für die Genehmigungspraxis und standortbezogene Immissionsprognosen sind für Offenlandökosysteme eine Depositionsgeschwindigkeit (v_d) von 1 cm s^{-1} nach TA Luft und 2 cm s^{-1} nach VDI 3782, Bl. 5 für Wald anzusetzen. Auch für die Immissionsprognosen wird in der Regel nicht zwischen Waldrand und Waldinnerem unterschieden.

Warum ist der Unterschied zwischen Wald und Offenland in Immissionsprognosen meist Faktor 2 bei PINETI aber nur 20-30%?

Der Unterschied in Immissionsprognosen basiert auf der Verwendung unterschiedlicher Depositionsgeschwindigkeiten (v_d) nach TA Luft und VDI-Richtlinie 3782, Bl. 5 mit einem Faktor 2 (1 cm s^{-1} nach TA Luft für Offenland und 2 cm s^{-1} nach VDI für Wald). Bei dem Wert für Wald handelt es sich um einen für Genehmigungsverfahren ausreichend konservativen Wert. Bei beiden Werten handelt es sich um mittlere Depositionsgeschwindigkeiten. Bei Immissionsprognosen wird stets nur ein kleiner Ausschnitt der Ausbreitungssituation betrachtet. Auch wird in der Regel konservativ vorgegangen und eine Abreicherung der atmosphärenchemischen Konzentration beim Übergang von Offenland in Wald nicht berücksichtigt.

In der LOTOS-EUROS Modellierung führt die großräumige Betrachtung, die wechselseitige Rückkopplung zwischen Konzentration und Deposition sowie die Berücksichtigung des Kompensationspunkt zu einer Verkleinerung des Gradienten. Auch wird in PINETI die nasse Deposition berücksichtigt, welche unabhängig von der Landnutzungs-kategorie ist. Insgesamt hat sich in PINETI-3 der Kontrast zwischen den Waldlandnutzungs-kategorien und Ackerland verstärkt.

4. Fragen zur Handhabung des Kartendienstes

Wie erfolgt die Abfrage?

Die Abfrage der Daten erfolgt über einen [Kartendienst](#). Nach Auswahl einer für den bekannten Standort geeigneten Landnutzungs-kategorie lassen sich Depositionswerte durch Eingabe der Rechts- und Hochwerte (Gauß-Krüger-Koordinaten oder UTM (Universal Transverse Mercator)) abfragen, wobei der entsprechende Streifen bzw. die entsprechende Zone vorab im Pulldown-Menü „Koordinatenreferenzsystem“ ausgewählt werden muss. Alternativ lassen sich die Depositionswerte ab der Zoomstufe neun durch Bewegen des Mauszeigers auf der Karte auch direkt (am Mauszeiger)²⁰ anzeigen. Der Wert wird im Fenster „Depwert“ oder als Pop-Up-Information am Mauszeiger angezeigt. Nach einem Wechsel der Landnutzungs-kategorie muss erneut „Anfrage starten“ gedrückt werden, um im Fenster „Depwert“ oder am Mauszeiger den korrekten Eintrag zu erhalten. Auch bei Wechsel der Kartenprojektion müssen Rechts- und Hochwert ggf. erneut eingegeben und der Button „Anfrage starten“ erneut geklickt werden.

Kann auch der gesamte Datensatz bestellt werden?

Der Datensatz, der sich im Kartendienst befindet, kann auch vollständig beim Umweltbundesamt bestellt werden. Auf diese Weise lassen sich die Daten in eine persönliche GIS-Software importieren. Die Daten stehen als ASCII-Daten zu Verfügung. Bei Interesse füllen Sie bitte die hinterlegte Datennutzungsvereinbarung ([link](#)) aus und schicken sie am II4.3@uba.de. Die nachfolgenden Datensatzauszüge bieten wir standardmäßig an, sollten Sie darüber hinaus andere Daten der Deposition

¹⁹ Mohr, K. and U. Daemmgen (2013). "Belastung von Wäldern in Nordwest-Niedersachsen durch Ammoniak und Ammonium in der Umgebung von Tierhaltungsanlagen : Teil 1, Bestimmung und Bewertung von Dosis-Größen ; Ammonia and ammonium loads to forests in Northwest Niedersachsen in the vicinity of animal houses : Part 1, Assessment and validation of doses." *Landbauforschung Applied Agricultural and Forestry Research* 63(2/2013): 115-128.

²⁰ Hierbei wird durch Bewegen des Mauszeigers der Depositionswert in Echtzeit angezeigt. Diese Funktionalität ist ab Zoomstufe 9 verfügbar. Leichte Verzögerungen (Ruckeln des Popups) resultieren daher, dass nur bei unterschiedlichen Depositionswerten eine Aktualisierung des Popups durchgeführt wird.

oder Konzentration aus dem gesamten Spektrum der PINETI-3-Ergebnisse benötigen, sprechen Sie uns bitte an:

- a) Stickstoffgesamtdeposition (N_{ges}), Mittelwert 2013-2015, 10 Landnutzungsklassen, entspricht Kartendienst-Daten
- b) alle Stickstoffflüsse (trocken, nass, feucht, gesamt), alle Komponenten (N_{ges} , NH_x , NO_y), Mittelwerte 2013-2015, 10 Landnutzungsklassen
- c) alle Stickstoffflüsse (trocken, nass, feucht, gesamt), alle Komponenten (N_{ges} , NH_x , NO_y), Einzeljahre 2013, 2014, 2015 und Mittelwerte 2013-2015, 10 Landnutzungsklassen.

Wie lassen sich bestellte ASCII-Daten in ArcGIS einlesen?

Zunächst wird aus der ASCII-Datei ein ESRI-Raster erzeugt. Im Anschluss muss noch das Koordinatensystem definiert werden. Folgende Funktionen müssen in ArcGIS nacheinander abgearbeitet werden:

1) ASCIIToRaster_conversion (Conversion Tools\In Raster)²¹ (wichtig ist, dass bei "Konzentrationen" "INTEGER" als Datentyp angegeben wird (ganzzahlig). Alternativ muss „FLOAT“ angegeben werden (Dezimalzahlen).

2) DefineProjection_management (DataManagementTools\Projektionen und Transformationen\Projektionen definieren)²² (die Daten liegen in GK3 vor → EPSG 31467²³)

Wie können Standortdaten aus einem anderen Koordinatensystem in die GK-Koordinaten transformiert werden?

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) bietet auf seiner Website die Möglichkeit, die Koordinaten unterschiedlicher Systeme ineinander zu transformieren (<http://sgs.geodatenzentrum.de/coordtrans>). Jegliche Haftung für die Korrektheit und für Schäden aus der Anwendung dieser Dienste wird ausgeschlossen.

Ändern sich die Werte, je nachdem über welchen Gauß-Krüger-Streifen / UTM-Zone die Abfrage erfolgt?

Die Werte liegen auf einem 1 x 1 km² Raster vor. Befindet sich der gesuchte Standort in der Nähe einer Rastergrenze, so ist es möglich, dass, je nach gewähltem Gauß-Krüger-Streifen / UTM-Zone und Kartenmaßstab, der Wert des benachbarten Rasters angezeigt wird. Dieser Effekt ist aufgrund der räumlichen Auflösung unvermeidbar. Es sollten daher immer die Werte in der direkten Umgebung untersucht werden. Bei Werten nahe der Rastergrenze empfiehlt sich die Verwendung des Mittelwertes.

Wieso muss im Datensatz eine Landnutzungsklasse ausgewählt werden?

Für die meisten Fragestellungen ist die Deposition für eine einzelne der zehn Landnutzungsklassen an einem Punkt von Interesse, d.h. gefragt ist z.B. die Deposition in ein Laubwaldgebiet. Für die Beantwortung dieser gezielten Fragestellungen lassen sich die zehn flächenweiten Datensätze je Landnutzungsklasse nutzen (zur Berechnung s.o.). Diese können über ein Auswahlménú unabhängig voneinander angezeigt werden.

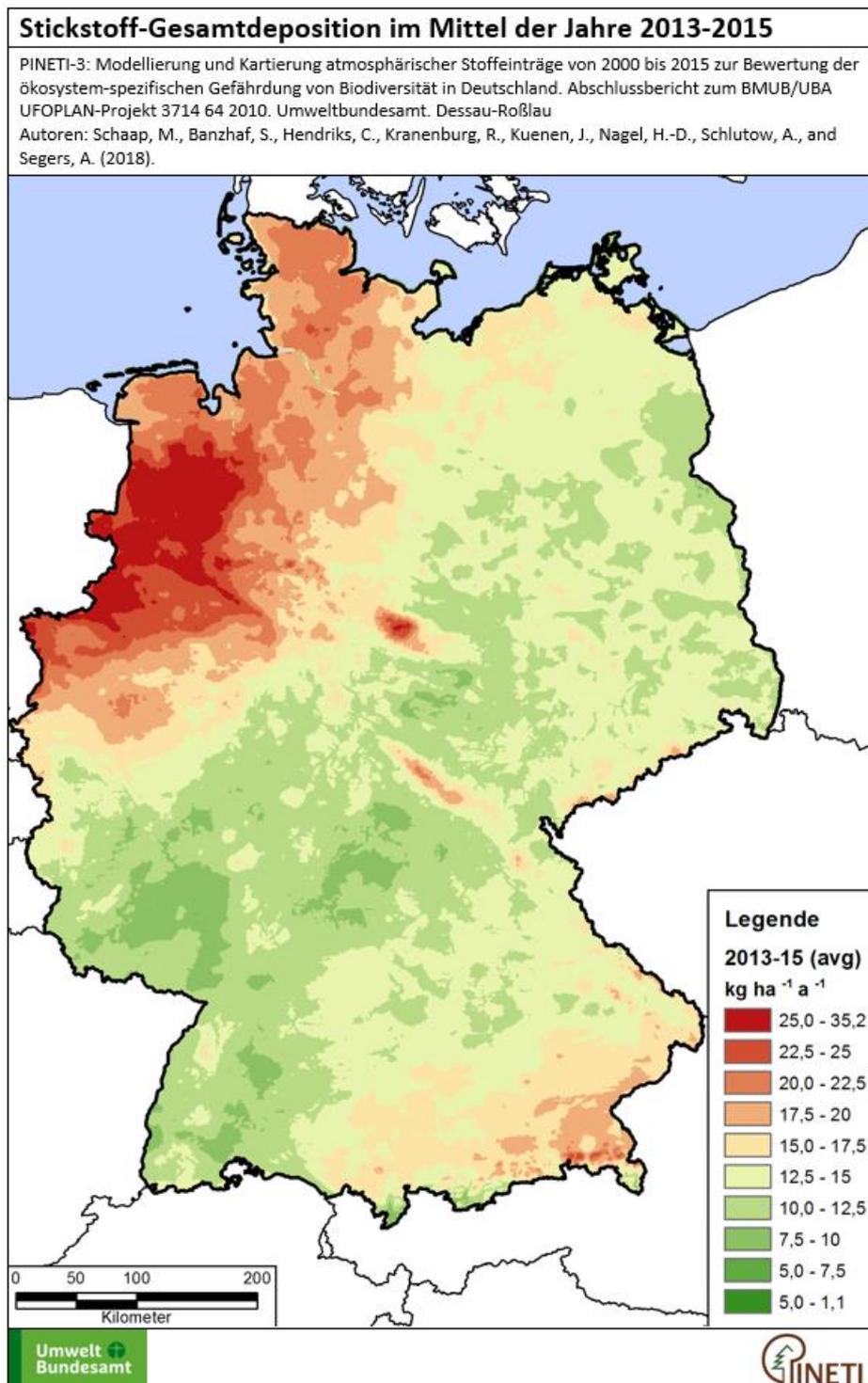
Da Deutschland von einem Landnutzungs mosaik bedeckt ist (d.h. die einzelnen Landnutzungen wechseln sich ab), gibt es auch einen nationalen Datensatz, in dem die Deposition pro 1 x 1 km²-Rasterzelle entsprechend der Anteile der Landnutzungsklassen prozentual gewichtet ist (Abbildung 2). Dieser Datensatz der Gesamtdeposition wird in der Anwendung nicht angezeigt, kann aber zusammen mit den anderen Daten beim UBA bestellt werden.

²¹ <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/conversion/ascii-to-raster.htm>

²² <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/data-management/define-projection.htm>

²³ <http://spatialreference.org/ref/epsg/31467/>

Abbildung 2: Stickstoffgesamtdeposition im Mittel der Jahre 2013-2015 mit Annahme einer realistischen Landnutzungsverteilung (Landnutzungsmosaik)



Wie lassen sich die zehn aggregierten Landnutzungsklassen dem CORINE Landcover Datensatz²⁴ zuordnen

Landnutzungsklasse Kartendienst	Englischer Name (Abkürzung)	Corine Land Cover (CLC) Code
Wiesen und Weiden	Grassland (grs)	231, 141, 142, $\frac{1}{2}$ * 412
Ackerland	Arable land (ara)	211, 212, 213, 242, $\frac{1}{2}$ *243
Mischwald	Mixed forest (mix)	313
Nadelwald	Coniferous forest (cnf)	312
Laubwald	Deciduous forest (dec)	311, $\frac{1}{2}$ *411
Wasserflächen	Water (wat)	511-523, 335, $\frac{1}{2}$ *(411, 412, 421, 423)
bebautes Gebiet	Urban area (urb)	111-133
semi-natürliche Vegetation	Semi-natural vegetation (sem)	321, 322, 324
Dünen und Felsfluren	Other (oth)	331-334, $\frac{1}{2}$ *(421, 423)
Dauerkulturen	Crops (crp)	221,222, 223, 244, $\frac{1}{2}$ * 243

Die CORINE-Landnutzungsklassen 243 – Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung, 411 – Sümpfe, 412 - Torfmoore, 421 – Salzwiesen, 423 –in der Gezeitenzone liegende Flächen lassen sich nicht eindeutig einer der aggregierten Landnutzungsklassen zuordnen, da das Modell für diese Flächen eine Mischparametrisierung aus zwei Klassen für Faktoren wie z. B. Rauigkeitslänge oder Blattflächenindex zu Grunde legt. Entsprechend den tatsächlichen Bedingungen vor Ort ist in solchen Fällen zu entscheiden, ob eher die eine oder die andere Landnutzungsklasse maßgeblich ist. Im einfachsten Fall lässt sich der Mittelwert der Depositionswerte aus den beiden Landnutzungsklassen bilden.

²⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/corine-land-cover-clc>

5. Fragen zu Critical Loads und Critical Loads Überschreitungen

Können die im PINETI-Projekt verwendeten Karten der Critical Loads und Critical Loads Überschreitungen für lokale Anwendungen herangezogen werden?

Die Anwendung der im PINETI-Projekt verwendeten Critical Loads wird nicht für Bewertungen in den Bundesländern empfohlen. Bei Anwendungen in den Bundesländern wird in der Regel auf die im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE international abgestimmten empirischen Critical Loads für Eutrophierung (Bobbink & Hettelingh, 2011²⁵), auf modellierte standorttypische (Balla et al., 2013²⁶) oder standortspezifische Critical Loads (Arbeitsgemeinschaft StickstoffBW 2014²⁷) zurückgegriffen.

Im PINETI-Projekt wurden zur Erheblichkeitsbeurteilung der Schadstoffeinträge wie in den Vorgängerprojekten nationale Statistiken der Critical Loads für Eutrophierung und Versauerung nach der Massenbilanzmethode mit einer Auflösung von 1 x 1 km² erstellt.

Für die Berechnung der Critical Loads mit der Massenbilanzmethode sind eine Reihe von Eingangsdaten nötig. Die Höhe des Critical Loads hängt insbesondere vom betrachteten Ökosystem (Empfindlichkeit, Ernteentzug, Biogeochemie), dem Bodentyp und der lokalen Meteorologie ab. Für die nationale Karte werden die notwendigen Eingangsdaten aus nationalen Kartenwerken (Ökosystemtyp über den CORINE-Landbedeckungsdatensatz, Bodentyp über die Bodenübersichtskarte 1: 1 Mio. etc.) abgeleitet.

Für Anwendungen in den Bundesländern zur lokalen Bewertung der Empfindlichkeit von Ökosystemen ist dieser Datensatz nicht geeignet; aufgrund der geringeren räumlichen Auflösung kann z.B. der für eine Beurteilung relevante Ökosystemtyp vom Ökosystemtyp, der sich nach dem CORINE-Datensatz ergibt, extrem abweichen (z.B. kleine Hochmoore im Alpenvorland)²⁸.

Kann durch Berücksichtigung des Kompensationspunktes in der Modellierung der Eindruck entstehen, dass es auf Flächen, auf denen sich die Deposition methodisch bedingt verringert hat, bezüglich N-Einträge keine Probleme gäbe? Wie wird dieser Sachverhalt bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt?

Wie oben dargestellt führt die Berücksichtigung des Kompensationspunktes dazu, dass die Stickstoffgesamtdeposition in landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen eher zurückgeht und in Regionen ohne intensive landwirtschaftliche Nutzung eher zunimmt. Davon betroffen könnten auch (semi-)natürliche Ökosysteme sein, die innerhalb dieser Regionen liegen. Ob durch die Stickstoffdeposition aber letztlich ein Problem für das Ökosystem besteht, hängt nicht nur von der Höhe der Stickstoffdeposition ab, sondern auch von der Höhe des ökosystemspezifischen Critical Load also der Empfindlichkeit des Ökosystems. Critical Loads werden nur für (semi-)natürliche Ökosysteme berechnet. Für Ackerflächen oder landwirtschaftlich genutztes Gras- oder Weideland stehen keine Critical Loads zur Verfügung. Daher spielt die N-Sättigung dieser Fläche direkt keine Rolle bei der Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich Critical Load Überschreitungen.

Insgesamt sind die Critical Loads für Eutrophierung mit den PINETI-3-Modellierungen (also inklusive Kompensationspunkt) auf 70 % der Flächen (semi-)natürlicher Ökosysteme überschritten. Trotz Berücksichtigung des Kompensationspunkt liegen die Flächen mit den höchsten Überschreitungen (zwischen 15-30 kg ha⁻¹ a⁻¹) im Nord-West-Deutschlands, auch weil zur Ermittlung der Gesamtdeposition auch die nasse Deposition berücksichtigt wird.

²⁵ Bobbink, R. & Hettelingh, J.-P. (2011): Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships – Proceedings of an expert workshop

²⁶ Balla, S., Uhl, R., Schlutow, A., Lorentz, H., Förster, M., Becker, C., Müller-Pfannenstiel, K., Lüttmann, J., Scheuschner, T., Kiebel, A., Düring, I., and Herzog, W. (2013). Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope - Bericht zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Band 1099. BMVBS, Abteilung Straßenbau, Bonn; Carl Schünemann Verlag, Bremen

²⁷ Arbeitsgemeinschaft StickstoffBW (2014): Ermittlung standortspezifischer Critical Loads für Stickstoff - Dokumentation 2014.- Fachdokumentendienst Umweltbeobachtung, ID Umweltbeobachtung [U26-S7-N12](#), 187 Seiten, Karlsruhe.

²⁸ Die Flächenstatistik der Critical Load Überschreitung beruht aus methodischen Gründen nahezu ausschließlich auf Wald (ca. 96%). Geschützte terrestrische Freilandökosysteme können methodenbedingt fast nicht erfasst werden.

Zusätzlich empfiehlt sich bei der Bewertung der Umweltauswirkungen von Ammoniak auf die Vegetation im Rahmen von FFH-Verträglichkeitsprüfungen die Anwendung von Critical Level (CLe), dann wenn Ökosysteme mit Flechten oder Moosen betroffen sind (CLe = $1 \mu\text{g m}^{-3}$) oder wenn sich durch höhere Vegetation geprägte Ökosysteme (CLe = $3 \mu\text{g m}^{-3}$) durch Critical Loads $> 12 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Offenland und $> 16 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Wald auszeichnen²⁹.

²⁹ Der Critical Level für höhere Pflanzen in Höhe von $3 \mu\text{g m}^{-3}$ wurde mit den Depositionsgeschwindigkeiten der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 5 für Gras ($1,5 \text{ cm s}^{-1}$) und Wald (2 cm s^{-1}) in vergleichbare Werte der Stickstoffdeposition umgerechnet.

6. Weiterführende Informationen

Für weitere Fragen wenden Sie sich bitte an: II4.3@uba.de

BMUB/UBA-Forschungsberichte:

- FKZ 3714 64 2010: PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland, [Abschlussbericht](#)
- UBA-Projekt: Critical Load Daten für die Berichterstattung 2015 - 2017 im Rahmen der Zusammenarbeit unter der Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP), [Abschlussbericht](#)
- 3712 63 240 – 1: Modelling and assessment of acidifying and eutrophying atmospheric deposition to terrestrial ecosystems (PINETI-2): Teil 1 Deposition 2009-2011, [Abschlussbericht](#)
- 3712 63 240 – 1: Ermittlung und Bewertung der Einträge von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffe in terrestrische Ökosysteme (PINETI -2): Teil 2 Critical Load Überschreitungen, [Abschlussbericht](#)
- 371263240 – 2: ArcGIS basierte Lösung zur detaillierten, deutschlandweiten Verteilung (Gridding) nationaler Emissionsjahreswerte auf Basis des Inventars zur Emissionsberichterstattung, [Abschlussbericht](#)
- 3710 63 246 „Modellierung und Kartierung atmosphärischer Stoffeinträge und kritischer Belastungsschwellen zur kontinuierlichen Bewertung der ökosystemspezifischen Gefährdung der Biodiversität in Deutschland“ (PINETI-1, [Abschlussbericht](#))

UBA-Broschüren:

- Stickstoff – Zuviel des Guten? ([Broschüre](#), UBA 2011)
- Reaktiver Stickstoff in Deutschland ([Broschüre](#), UBA 2015)

Externe Angebote:

- LAI-Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen ([Bericht beim LANUV](#))
- Stickstoffeintrag in die Biosphäre - Erster Stickstoffbericht der Bundesregierung ([Bericht beim BMU](#))