

Sachstandbericht

Ermittlung der Deposition mithilfe von
Ausbreitungsrechnungen im Rahmen
der Prüfung der FFH-Verträglichkeit

Januar 2014



Der Sachstandbericht wurde erarbeitet von:

Dr. Harald Brünger, Düsseldorf
Dipl.-Met. Uwe Hartmann, Mönchengladbach
Dipl.-Umweltwiss. Ruth Heesen, Düsseldorf
Dr. Markus Hasel, Gerlingen
Dr. Heike Hebbinghaus, Essen
Dr. Ulf Janicke, Überlingen
Dipl.-Ing. Helmut Lorentz, Radebeul
Dr. Winfried Straub, Essen

Bildnachweis: © Taufik Kenan, Berlin – VDI Düsseldorf

Inhalt

- Einleitung
- 1 Immissionsprognose
 - 1.1. Ausbreitungsmodellierung
 - 1.1.1. Zusatzbelastung
 - 1.1.2. Ausbreitungsmodell
 - 1.1.3. Rechengebiet
 - 1.1.4. Landnutzung
 - 1.1.5. Quellen und Quelldynamik
 - 1.1.6. Quellentfernung
 - 1.2. Depositionsmodellierung
 - 1.2.1. Trockene Deposition
 - 1.2.2. Nasse Deposition
 - 1.2.3. Depositionsparameter
 - 1.3. Berechnung des Stickstoff- und Säureeintrags
 - 1.4. Ergebnisdarstellung
- 2 Schnittstellen zu Wirkungsfragen
- 3 Ausblick
- Literatur

Einleitung

Die Zulassung von Anlagen, die nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) einer Genehmigung bedürfen, bzw. von vergleichbaren Plänen oder Projekten, erfordert eine Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Belange. Grundlage hierzu sind Artikel 6 Absatz 3 der Richtlinie 92/43/EWG (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, kurz FFH-Richtlinie)

„Pläne oder Projekte, die nicht unmittelbar mit der Verwaltung des Gebietes in Verbindung stehen oder hierfür nicht notwendig sind, die ein solches Gebiet jedoch einzeln oder in Zusammenwirkung mit anderen Plänen und Projekten erheblich beeinträchtigen könnten, erfordern eine Prüfung auf Verträglichkeit mit den für dieses Gebiet festgelegten Erhaltungszielen. [...]“

und § 34 Absatz 1 und § 36 Absatz 1 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG)

„Projekte sind vor ihrer Zulassung oder Durchführung auf ihre Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines Natura 2000-Gebiets zu überprüfen, wenn sie einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Projekten oder Plänen geeignet sind, das Gebiet erheblich zu beeinträchtigen, und nicht unmittelbar der Verwaltung des Gebiets dienen. [...]“

Im Rahmen einer FFH-Verträglichkeitsprüfung ist darzulegen, ob eine erhebliche Beeinträchtigung eines FFH-Gebiets einzeln durch das Projekt oder in Zusammenwirkung mit anderen Plänen und Projekten ausgeschlossen werden kann. Zu einer FFH-Verträglichkeitsprüfung gehören unter anderem die Ermittlung und Bewertung von Stickstoff- und Säureeinträgen.

Für die Durchführung von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren gibt es im Hinblick auf die Ermittlung und Bewertung von Luftqualitätsdaten definierte Verfahrensweisen. Sie stützen sich auf DIN-Normen und VDI-Richtlinien sowie Bekanntgabe- und Akkreditierungsverfahren. Die Beurteilung erfolgt anhand von Immissionswerten (vgl. TA Luft Nr. 4, 39. BImSchV, Geruchsimmisions-Richtlinie GIRL), differenziert nach unterschiedlichen Schutzzielen. Die Festlegung der Immissionswerte als Beurteilungsmaßstab erfolgt unter Berücksichtigung fachlicher und politischer Aspekte. Dies führt zu der Rechtssicherheit, die im Rahmen der Anlagengenehmigung erforderlich ist.

Für die Durchführung einer FFH-Verträglichkeitsprüfung sieht die aktuelle Sachlage anders aus. Die

TA Luft ist hier für die Immissionsprognose nicht bindend. Dennoch werden teilweise in ihr beschriebene Verfahrensweisen in der Praxis herangezogen (insbesondere die im Anhang 3 beschriebene Ausbreitungsmodellierung), nicht zuletzt im Hinblick auf eine möglichst große Rechtssicherheit. Neben der TA Luft wird auch auf VDI-Richtlinien Bezug genommen, beispielsweise für die Festlegung der Depositionsgeschwindigkeit von Ammoniak nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 5.

Ein einheitliches, allgemein akzeptiertes Verfahren für Immissionsprognosen im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsprüfung existiert bisher jedoch nicht, sodass ein in vielen fachlichen Details unregelter Bereich existiert, der andererseits eine große Rechtssicherheit erfordert. Die Folge ist, dass derzeit einzelne Gerichtsurteile die Genehmigungsverfahren und Ermittlungsmethoden prägen und sich Verfahrensweisen und Bewertungsgrundlagen mit jeder neuen gerichtlichen Entscheidung ändern können.

Den daraus resultierenden Unsicherheiten in der aktuellen Umweltverträglichkeitsprüfung kann durch die Festlegung von Technischen Regeln begegnet werden, welche die entsprechenden Ermittlungs- und Bewertungsverfahren standardisieren. Bisher sind auf verschiedenen Ebenen unter anderem folgende Leitfäden erarbeitet worden:

- LAI-Leitfaden Stickstoff (2012): In dem Leitfaden wird eine Vollzugshilfe im Rahmen der Sonderfallprüfung nach Nr. 4.8 der TA Luft beschrieben. Der Leitfaden stellt eine national einheitliche, standardisierte Methodik zur Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen zum Schutz vor erheblichen Nachteilen durch die Schädigung empfindlicher Pflanzen und Ökosysteme dar. Er gilt explizit nicht für die Bewertung naturschutzrechtlicher Belange.
- Brandenburger Leitfaden (2008): Er ist eine Vollzugshilfe zur Ermittlung erheblicher und irrelevanter Stoffeinträge in Natura 2000-Gebiete. Es werden Beurteilungswerte für verschiedene Schutzgüter (Boden, Gewässer, Fließgewässer) sowie Irrelevanz- und Erheblichkeitsschwellen angegeben.

Derzeit liegen im Entwurf Leitfäden in Nordrhein-Westfalen (Stickstoff-Leitfaden zur Bewertung stickstoffempfindlicher Biotope) und Bayern (Arbeitshilfe zur Bewertung von Stoffeinträgen in

Natura 2000-Gebiete) vor. Zudem werden Leitfäden innerhalb der Arbeitsgruppe „Stickstoffleitfaden Straße“ der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehr (FGSV) und des LAI/LANA neu erstellt bzw. überarbeitet. Diese Leitfäden sollen auf breiter Basis einsetzbare Bewertungsgrundlagen schaffen. Methoden zur Ermittlung von Stoffeinträgen zur Bewertung naturschutzrechtlicher Belange werden teilweise aufgeführt.

Im Fachbereich II „Umweltmeteorologie“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL sind eine Reihe von Richtlinien entwickelt worden, die in TA Luft, GIRL und der weiteren Genehmigungspraxis Anwendung finden, etwa zu Ausbreitungsmodellen (VDI 3782 Blatt 1, VDI 3783 Blatt 1, VDI 3945 Blatt 3), Grenzschichtmodellierung (VDI 3783 Blatt 8), Depositionsparametern (VDI 3782 Blatt 5) und Qualitätssicherung von Immissionsprognosen (VDI 3783 Blatt 13 und Blatt 14). Vor diesem Hintergrund hat der Ausschuss „Luftqualität“

des Fachbereichs II eine Arbeitsgruppe eingerichtet, um den aktuellen Sachstand zur Ermittlung der Deposition mithilfe von Ausbreitungsrechnungen im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsprüfung darzulegen. Das Ergebnis ist der vorliegende Bericht.

Der Bericht bezieht sich auf die spezifischen, naturschutzrechtlichen Anforderungen und legt Umfang, Möglichkeiten und Grenzen der in der aktuellen Praxis etablierten Verfahrensweisen zur Immissionsprognose des Stickstoff- und Säureeintrags dar. Vorgehen, die zwar prinzipiell umsetzbar sind, aber in der derzeitigen Praxis nicht oder kaum angewendet werden, stehen nicht im Fokus, ebenso wenig juristische Einzelentscheidungen. Anwendungsgrenzen der Verfahren und die hierdurch bedingten, teilweise pragmatischen Lösungsansätze für die Genehmigungspraxis werden aufgezeigt, ebenso der Bedarf an ergänzenden VDI-Richtlinien und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Verfahrensweisen.

1 Immissionsprognose

Im Rahmen von FFH-Verträglichkeitsprüfungen werden Ausbreitungsrechnungen eingesetzt, um Aussagen zur – in der Regel bodennahen – Konzentration und dem Depositionseintrag aufgrund der in der Ausbreitungsrechnung berücksichtigten Emittenten zu gewinnen. Hierbei werden derzeit in erster Linie folgende Stoffe betrachtet:

- Stickstoffoxide, angegeben als Stickstoffdioxid
- Ammoniak
- Schwefeldioxid

Der Depositionseintrag in Boden und Vegetation kann durch trockene und durch nasse Deposition erfolgen (Richtlinie VDI 3782 Blatt 5). Im Folgenden wird eine Reihe von Aspekten aufgeführt, die für die Prognose der Stoffeinträge maßgeblich sind.

1.1 Ausbreitungsmodellierung

Für die Modellierung der luftseitigen Ausbreitung werden die zu betrachtende Situation, die Emittenten, das Rechengebiet sowie topografische und meteorologische Kenngrößen festgelegt. In der anschließenden Ausbreitungsrechnung werden die Konzentration und daraus der Depositionseintrag in Boden und Vegetation bestimmt.

1.1.1 Zusatzbelastung

Im Rahmen der Anlagengenehmigung nach BImSchG ist in der TA Luft die Zusatzbelastung der Beitrag, der durch das beantragte Vorhaben hervorgerufen wird (TA Luft Nr. 2.2). Die Zusatzbelastung kann sich auch aus den Emissionen der gesamten Anlage ergeben (vgl. z. B. Nr. 4.2.2 der TA Luft), wenn eine Beurteilung nach dem „Irrelevanzkriterium“ erfolgt.

Vergleichbare Festlegungen gibt es für Untersuchungen bei der FFH-Verträglichkeitsprüfung nicht. Grundsätzlich werden Pläne und Projekte betrachtet, deren Emissionen in ihren Auswirkungen auf ein FFH-Gebiet zu ermitteln und zu bewerten sind. Es kann demnach neben der Berücksichtigung der Emissionen des eigentlichen Vorhabens auch die Betrachtung weiterer Quellen erforderlich sein („Summation“). Die exakte Definition der „Zusatzbelastung“ ist, auch vor dem Hintergrund sich widersprechender Gerichtsurteile, erst möglich, wenn ein Beurteilungssystem umfassend festgelegt wird.

Im Rahmen dieses Sachstandberichts wird die Zusatzbelastung als der Beitrag bezeichnet, der sich aus den Emissionen der in der Ausbreitungsrechnung berücksichtigten Quellen des Plans oder Projekts ergibt.

1.1.2 Ausbreitungsmodell

Die Eignung eines Prognosemodells zur Ermittlung der Immission richtet sich nach der Aufgabenstellung. Die Immissionsprognose basiert auf einer Kette von Ansätzen und Konventionen, in der das eigentliche Ausbreitungsmodell nur einer von mehreren Bausteinen ist: Quellcharakterisierung (Ort, Dynamik) – Emissionsfestlegung (Menge, zeitliches Verhalten) – Angaben zur meteorologischen Situation (Umfang, Übertragbarkeit) – Grenzschichtmodell (lokale Besonderheiten) – Ausbreitungsmodell (Eignung, Anwendungsbereich) – Depositionsbestimmung (Niederschlag, Auswaschrate, Depositionsgeschwindigkeit).

Für Ausbreitungsrechnungen zur FFH-Verträglichkeitsprüfung werden Modelle und Konventionen meist der TA Luft, der GIRL und entsprechenden VDI-Richtlinien entnommen, insbesondere den Richtlinien VDI 3782 Blatt 5, VDI 3783 Blatt 8, VDI 3945 Blatt 3, VDI 3783 Blatt 13 und Blatt 14.

1.1.3 Rechengebiet

Das Rechengebiet wird so festgelegt, dass mindestens alle in der Ausbreitungsrechnung zu berücksichtigenden Emissionsquellen und Immissionsorte eingeschlossen sind. Gegebenenfalls beeinflussen auch topografische Besonderheiten und Vorgaben des eingesetzten meteorologischen Modells und des Ausbreitungsmodells die Größe des Rechengebiets.

Bei der Beurteilungsmethode zur Bewertung von Stoffeinträgen in FFH-Gebiete werden neben den Stoffeinträgen an vorgegebenen Einzelpunkten oft auch die Flächen betrachtet, innerhalb denen es zur Überschreitung des sogenannten **critical loads** bzw. der Bagatellschwelle kommt. Dafür ist es erforderlich, auf den zu beurteilenden Lebensraumtypen die berechneten Depositionseinträge flächendeckend auszuweisen und die räumliche Änderung des Depositionseintrags hinreichend aufzulösen.

Üblicherweise nimmt der Konzentrationsgradient mit zunehmender Entfernung von einem bodennahen Emittenten ab. Soweit räumlich konstante Depositionsgeschwindigkeiten bzw. Niederschlagswerte verwendet werden, gilt das auch für den Depositionsgradienten, sodass die Deposition im quellfernen Bereich größer als im quellnahen Bereich aufgelöst werden kann. Diese Aspekte spielen bei der Festlegung des Rechengebiets und der Rechengitter ebenfalls eine Rolle.

1.1.4 Landnutzung

Landnutzungsdaten liegen meist in Form von Katastern vor (z. B. CORINE), die eine gegebene räumliche Auflösung und zeitliche Aktualität besitzen. Die für die einzelnen Landnutzungsarten charakteristischen Bodenstrukturen beeinflussen das Ausbreitungsverhalten und die trockene Deposition. Die Bodenstrukturen werden üblicherweise durch eine Rauigkeitslänge und eine Verdrängungshöhe charakterisiert (siehe z. B. TA Luft, Anhang 3, Tabelle 14).

Wenn die Luftströmung über ein Gebiet streift, in dem die Rauigkeitslänge von einem auf einen anderen Wert übergeht, dann macht sich die zugehörige Änderung der Turbulenz zunächst am Erdboden bemerkbar. Diese Änderung wird windabwärts transportiert und breitet sich dabei nach oben aus. Es bildet sich ein Übergang vom Höhenbereich der Atmosphäre, dessen Turbulenz schon dem neuen Wert der Rauigkeitslänge entspricht, zu dem, der noch die alte Turbulenz aufweist. In Ausbreitungsrechnungen können diese Effekte derzeit nur näherungsweise modelliert werden. In der Berechnung des Windfelds kann eine inhomogene Bodenstruktur berücksichtigt werden. Für die Bestimmung der konkreten, vom Ausbreitungsmodell benötigten Turbulenzgrößen ist das wesentlich schwieriger und nicht Stand der Technik.

Für Anwendungen in Genehmigungsverfahren sind daher Vereinfachungen als Konvention festgelegt, die praxisnahe Anforderungen an Eingangsdaten, Handhabung und Überprüfbarkeit der Rechenmethode gewährleisten. Anhang 3 der TA Luft gibt die Verwendung einer räumlich konstanten, mittleren Rauigkeitslänge mit dem Zusatz vor, dass bei starker räumlicher Variation der Einfluss des verwendeten Wertes zu prüfen ist. Dies ist ein in der Praxis etabliertes und bewährtes Verfahren.

Auf die trockene Deposition eines Spurenstoffs wirkt sich die räumliche Änderung der Bodenstruktur bzw. Landnutzung direkt aus und kann über eine räumlich abhängige Depositionsgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Die Bestimmung einer raum- und zeitabhängigen Depositionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von lokaler Bodenstruktur und aktueller Meteorologie über ein sogenanntes Widerstandsmodell ist bisher im Rahmen von Genehmigungsverfahren in Deutschland nicht Stand der Praxis. Stattdessen wird ein Mittelwert, eventuell verbunden mit einer Differenzierung nach Landnutzungsklassen und nachträglichen konservativen Abschätzungen, verwendet, siehe Abschnitt 1.2.

Lokale Sondereffekte, die die Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen beeinflussen, können auch aus spezifischen Waldrandeffekten resultieren (UBA 2011). Im Rahmen der üblicherweise verwendeten konservativen Ansätze sind derartige kleinräumige Effekte in der Regel abgedeckt und werden in der Praxis nicht explizit berücksichtigt.

1.1.5 Quellen und Quelldynamik

Typische Quellen für Stickstoffdioxid-, Ammoniak- und Schwefeldioxid-Emissionen sind industrielle Anlagen mit geführten Quellen (Schornsteine, Kühltürme), landwirtschaftliche Anlagen mit bodennaher, größtenteils diffuser Ableitung sowie der Kraftfahrzeugverkehr.

Einer zusätzlichen Dynamik der emittierten Schadstoffe, zum Beispiel aufgrund des Abluftimpulses oder besonderer Strömungsbedingungen am Emissionsort, wird in Ausbreitungsrechnungen mit zugeschalteten Modellen (Überhöhungsmodelle) oder einer Anpassung der Quellgeometrie (Lage, Ausdehnung) Rechnung getragen. Das ist insbesondere für die Bestimmung der Immission im Nahbereich des Emittenten von Bedeutung.

Für die Ausbreitung verkehrsbedingter Schadstoffe spielt im Nahbereich die fahrzeugerzeugte Turbulenz, also der Verwirbelungen der Luft aufgrund der Fahrzeugbewegung, eine Rolle. Unmittelbar an der Straße kann sie zu einer Halbierung der Konzentration im Vergleich zu einer passiven Freisetzung in Bodennähe führen, in Entfernungen von einigen 100 m ist ihr Einfluss auf 10 % oder weniger abgeklungen (siehe BMVBS, 2013). Im einfachsten Fall kann der fahrzeugerzeugten Turbulenz durch Ansatz einer vertikalen Quellverschmierung Rechnung getragen werden. Ihr Wert hängt unter anderem vom Verkehrsaufkommen, dem Schwerverkehrsanteil und der Fahrgeschwindigkeit ab (Bäumer, 2003; Stern & Yamartino, 2001) und ist in der Regel größer als 2 m.

1.1.6 Quellentfernung

Im Zusammenhang mit FFH-Verträglichkeitsprüfungen werden häufig relativ kleine Immissionsbeiträge betrachtet. Für die Aussagekraft eines Ausbreitungsmodells ist die absolute Höhe der Immission nicht von Bedeutung, da die Physik der atmosphärischen Ausbreitung nicht vom Betrag der Emission oder Immission des Spurenstoffs abhängt. Ist die Immission jedoch klein aufgrund einer großen Entfernung

zur Emissionsquelle, können physikalische Effekte wirksam werden, die in geringerer Quellentfernung weniger wichtig sind:

- Je größer die Quellentfernung, desto stärker können die Werte der relevanten meteorologischen Parameter von den am Ort der Freisetzung gültigen abweichen. Dieser Aspekt ist weniger kritisch, wenn wie bei der Deposition, das Mittel über einen längeren Zeitraum (üblicherweise ein Kalenderjahr) betrachtet wird. In Untersuchungen nach TA Luft ist es Konvention, meteorologischen Daten eines geeigneten, repräsentativen Aufpunkts zu verwenden und gegebenenfalls orografische Einflüsse auf die Strömung mit einem Windfeldmodell zu berücksichtigen.
- Je größer die Quellentfernung, desto ausgedehnter ist die Stoff-Fahne und desto weniger Einfluss haben lokale topografische (z. B. Erhebungen) und meteorologische Effekte. Eine ausgedehnte, homogene Fahne bleibt im Wesentlichen homogen, auch wenn Geländeprofil oder meteorologischen Kenngrößen innerhalb der Fahne inhomogen sind.
- Je größer die Quellentfernung, desto weniger Einfluss haben Details der quellnahen Modellierung auf die Immissionsverteilung. Zum Beispiel werden mit zunehmender Entfernung aufgrund der zunehmenden vertikalen Aufweitung der Fahne Unterschiede zwischen expliziter Gebäudeberücksichtigung im Bereich der Quelle und Ansatz einer vertikalen Quellverschmierung immer kleiner.
- Je größer die Quellentfernung, desto mehr Einfluss können zeitlich integrierende Prozesse wie Sedimentation, Deposition und chemische Umsetzungen haben.
- Bei sehr kleinen Zusatzbelastungen ist ein Vergleich mit Messdaten problematisch, wenn die messtechnische Unterscheidung von der Hintergrundbelastung kaum noch möglich ist. Das kann insbesondere in großer Quellentfernung der Fall sein.

1.2 Depositionsmodellierung

Der Eintrag in Boden und Vegetation durch trockene oder nasse Deposition hängt von der luftseitigen Konzentrationsverteilung und weiteren Parametern ab. Er wird entweder direkt im Laufe der Ausbreitungsrechnung einschließlich der damit zusammenhängenden luftseitigen Abreicherung modelliert oder nachträglich anhand der ausgewiesenen Konzentrationswerte konservativ abgeschätzt.

1.2.1 Trockene Deposition

Trockene Deposition bezeichnet die Ablagerung eines luftgetragenen Stoffs an Oberflächen durch Anhaften oder zufällige Berührung (Richtlinie VDI 3782 Blatt 5). Sie ist proportional zur Stoffkonzentration in einer bodennahen Referenzhöhe. Der Proportionalitätsfaktor ist die Depositionsgeschwindigkeit, die von dem Schadstoff und der Oberflächenstruktur abhängt. In der Praxis wird in der Regel davon ausgegangen, dass Resuspension des abgelagerten Stoffs in den atmosphärischen Transport, Sättigungseffekte (Kompensationspunkt) und Ausgaseffekte keine Rolle spielen.

Neben dem Standardansatz einer räumlich konstanten Depositionsgeschwindigkeit entsprechend TA Luft werden auch Ausbreitungsrechnungen mit landnutzungsspezifischen Depositionsgeschwindigkeiten durchgeführt. Hierbei erfolgt die räumliche Differenzierung entweder direkt in der Ausbreitungsrechnung oder nachträglich.

Die Festlegung der Depositionsgeschwindigkeit ist mit Unsicherheiten verbunden. Eine Ausbreitungsrechnung mit einer räumlich konstanten, zu großen Depositionsgeschwindigkeit liefert für das Depositionsmaximum eine konservative (das heißt tendenziell zu hohe) Abschätzung. Weniger klar ist, was im Fernbereich passiert: Einerseits wird auch hier zu viel von der vorhandenen bodennahen Konzentration in den Erdboden eingetragen, andererseits ist die Konzentration beim Transport zu diesem Ort bereits zu stark abgereichert worden. Testrechnungen zeigen, dass für Quellentfernungen bis etwa 20 km und Depositionsgeschwindigkeiten kleiner $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ eine zu große Depositionsgeschwindigkeit in der Regel eine zu große Deposition auch in größerer Quellentfernung liefert.

Für eine einfache Abschätzung wird meist umgekehrt vorgegangen (z. B. **Straub et al.**, 2013): Die Ausbreitungsrechnung wird mit einer räumlich konstanten, zu kleinen Depositionsgeschwindigkeit durchgeführt als Basis für eine anschließende konservative Abschätzung der Deposition. Hierfür gibt es folgende Möglichkeiten:

1. Die Ausbreitungsrechnung wird ganz ohne Deposition durchgeführt und anschließend wird die Deposition als Produkt aus ausgewiesener, bodennaher Konzentration und einer vorgegebenen Depositionsgeschwindigkeit abgeschätzt. Dieses Verfahren ist aus zwei Gründen konservativ: Zum einen wird eine luftseitige Abreicherung des Stoffs nicht berücksichtigt. Zum anderen wird in der Praxis meist nicht die Konzentration unmittelbar am Erdboden herangezogen, sondern nach TA Luft der

Mittelwert über den Höhenbereich 0 m bis 3 m; da sich durch trockene Deposition ein Konzentrationsgradient am Erdboden ausbildet, ist dieser Mittelwert tendenziell etwas größer als der Wert unmittelbar am Erdboden.

2. Die Rechnung wird mit einer realistischen, aber tendenziell zu kleinen Depositionsgeschwindigkeit durchgeführt und die Deposition wird als Produkt aus dem ausgewiesenen bodennahen Mittelwert der Konzentration und der gewünschten Depositionsgeschwindigkeit abgeschätzt. Diese Abschätzung ist konservativ, aber in geringerem Maße als die zuvor, da mehr aus der Luft entfernt wurde.
3. Die Rechnung wird mit einer realistischen, aber tendenziell zu kleinen Depositionsgeschwindigkeit durchgeführt und die ausgewiesene Deposition wird mit dem Verhältnis von gewünschter zu verwendeter Depositionsgeschwindigkeit multipliziert. Diese Abschätzung ist konservativ, aber in geringerem Maße als die zuvor, da ein möglicher Konzentrationsgradient in Bodennähe berücksichtigt wird.

1.2.2 Nasse Deposition

Nasse Deposition bezeichnet den Depositionseintrag eines Stoffs durch Niederschlag (Richtlinie VDI 3782 Blatt 5). Sie wird in der Regel als proportional zur vertikal integrierten Stoffkonzentration angesetzt. Der Proportionalitätsfaktor ist die Auswaschrates, die von den Lösungseigenschaften des Stoffs und der Niederschlagsintensität abhängt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Lösung des Stoffs im Regentropfen irreversibel ist.

Die Modellierung reversibler Lösungsprozesse ist wesentlich komplexer (siehe z. B. **Janicke & Janicke**, 2008) und in Genehmigungsverfahren nicht Stand der Praxis. Ihre Vernachlässigung führt zu einer eher konservativen Abschätzung des Bodeneintrags durch nasse Deposition. Das Auswaschen durch Nebel oder Schnee wird in der Praxis in der Regel vernachlässigt.

Für die Berechnung der nassen Deposition werden Niederschlagsintensitäten benötigt, die charakteristisch für den Standort sind. Die Niederschlagsdaten sollten konsistent mit den weiteren, in der Ausbreitungsrechnung verwendeten meteorologischen Kenngrößen sein (z. B. Niederschlag hauptsächlich bei indifferenter Schichtung). Es ist wichtig, dass der Jahresniederschlag den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht, eventuell angepasst durch eine geeignete Skalierung (z. B. Multiplikation der Niederschlags-

intensitäten mit einem konstanten Faktor). Ebenso sollte die Gesamtzahl der Stunden mit Niederschlag bzw. die mittlere Niederschlagsintensität die tatsächlichen Gegebenheiten wiedergeben.

Die Verfügbarkeit von geeigneten (insbesondere stundenfeinen) standortspezifischen Niederschlagsdaten ist im Allgemeinen schlechter als bei den üblichen meteorologischen Kenngrößen.

In der Ausbreitungsrechnung wird eine räumlich homogene Niederschlagsintensität angenommen, da feiner aufgelöste Werte nicht verfügbar sind. Diese Vereinfachung ist unkritisch, wenn, wie bei der Deposition üblich, Mittelwerte über einen längeren Zeitraum (typischerweise ein Jahr) betrachtet werden und die mittleren Jahresniederschläge im Gebiet keine signifikanten Unterschiede aufweisen.

1.2.3 Depositionsparameter

Auswaschraten und Depositionsgeschwindigkeiten werden meist nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 festgelegt. Die Bestimmung der Depositionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern und der Bodenbeschaffenheit erfolgt über ein sogenanntes Widerstandsmodell, das eine Reihe von stoffspezifischen Eingangsdaten erfordert. Die Richtlinie enthält kein explizit ausgearbeitetes Widerstandsmodell und nennt für gasförmige Stoffe stattdessen Anhaltswerte für die Depositionsgeschwindigkeit, die sich in der gutachterlichen Praxis etabliert haben. Diese Werte differenzieren nur in geringem Maße nach der Bodenbeschaffenheit. So wird für NH_3 nur zwischen Gras, Wald und Mesoskala unterschieden und für NO und NO_2 jeweils nur ein einziger mittlerer Wert angegeben. Es besteht derzeit keine Konvention, wie zu verfahren ist, wenn andere Bodenbeschaffenheiten berücksichtigt werden sollen.

In dem UFOPLAN-Projekt „MAPESI“ (UBA, 2011) wurde ein Widerstandsmodell für die Berechnung der Stickstoffdeposition in Deutschland eingesetzt. Die Daten werden im Rahmen eines Folgeprojekts aktualisiert und stehen gegenwärtig nicht als Eingangsgrößen für lokale Ausbreitungsrechnungen (z. B. nach TA Luft) zur Verfügung (UBA, 2012). Daneben gibt es in der KRdL Überlegungen, in einer Überarbeitung der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 ein explizites Widerstandsmodell für gasförmige Stoffe aufzunehmen, das die bisherigen Anhaltswerte ergänzt bzw. ersetzt und eine detailliertere Unterscheidung nach Landnutzung und meteorologischen Größen ermöglicht.

Für NO spielt nasse Deposition keine Rolle, da NO praktisch nicht wasserlöslich ist. Auch die Auswaschraten von NO_2 ist sehr klein. Daher wird für aus bodennahen Quellen freigesetztes NO , NO_2 und NO_x die nasse Deposition oft vernachlässigt.

Bei der Ausbreitungsmodellierung verkehrsbedingter Emissionen und deren Deposition wird in der Regel NO_x anstelle von NO_2 und NO betrachtet und eine Depositionsgeschwindigkeit von NO_x aus den relativen Anteilen von NO und NO_2 abgeleitet. Eine Untersuchung hierzu findet sich im Forschungsbericht des BMVBS (BMVBS, 2013). Mit den dort verwendeten Methoden ergibt sich eine NO_x -Depositionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der NO_2 -Gesamtbelastung zwischen $0,0016 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und $0,0023 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1.3 Berechnung des Stickstoff- und Säureeintrags

In einer Ausbreitungsrechnung werden die Emissionen von NO und NO_2 (oder zusammen als NO_x), NH_3 und SO_2 vorgegeben und als Ergebnis die Immissionen dieser Stoffe ausgewiesen, wobei die Deposition entweder direkt in der Ausbreitungsrechnung bestimmt oder nachträglich abgeschätzt wird.

Zur Ermittlung des Stickstoff-Eintrags in Boden und Vegetation anhand der so berechneten Depositionswerte (Masse Stoff pro Fläche und Zeit) muss der Molanteil des Stickstoffs berücksichtigt werden. Die Stickstoffdeposition F_N (Masse Stickstoff pro Fläche und Zeit) berechnet sich wie folgt:

$$F_N = (14/30) \cdot F_{\text{NO}} + (14/46) \cdot F_{\text{NO}_2} + (14/17) \cdot F_{\text{NH}_3} \quad (1)$$

Die Bestimmung des Säureeintrags wird anhand des Säureäquivalents vorgenommen. Ein Säureäquivalent $S = 1 \text{ eq}$ entspricht 16 g Sulfatschwefel oder 14 g Nitrat- oder Ammoniumstickstoff. Wenn beim Bodeneintrag von SO_2 , NO , NO_2 und NH_3 angenommen wird, dass diese Komponenten zu Schwefelsäure (H_2SO_4) und Salpetersäure (HNO_3) oxidiert werden und ein Salpetersäure-Molekül ein H^+ -Ion und ein Schwefelsäure-Molekül zwei H^+ -Ionen bereitstellen, dann entspricht das Säureäquivalent S der Molanzahl der H^+ -Ionen. Es gilt dann also:

$$S = (1 \text{ eq}/30 \text{ g}) \cdot F_{\text{NO}} + (1 \text{ eq}/46 \text{ g}) \cdot F_{\text{NO}_2} + (1 \text{ eq}/17 \text{ g}) \cdot F_{\text{NH}_3} + (2 \text{ eq}/64 \text{ g}) \cdot F_{\text{SO}_2} \quad (2)$$

Bei der Umrechnung müssen die verwendeten Einheiten beachtet werden. Beispiele:

F_{NH_3}	S
$x \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$	$x (1/17) \cdot 1000 \text{ eq}/(\text{ha} \cdot \text{a})$
$x \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	$x (1/17) \cdot 3,154 \cdot 10^{11} \cdot \text{eq}/(\text{ha} \cdot \text{a})$
$x \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	$x (1/17) \cdot 3,154 \cdot 10^5 \cdot \text{eq}/(\text{ha} \cdot \text{a})$

Meist wird im Endergebnis die Deposition in der Einheit $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ und der Säureeintrag in der Einheit $\text{eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ausgewiesen.

1.4 Ergebnisdarstellung

Ausführliche Hinweise zur grafischen und tabellarischen Aufbereitung der Daten gibt die Richtlinie VDI 3783 Blatt 13. Für die Weiterverarbeitung und Bewertung durch den FFH-Gutachter hat es sich in

der Praxis oft als sinnvoll erwiesen, die Ergebnisse in einem GIS-fähigen Format (z. B. ESRI Shape) als Flächenpolygone zu übergeben.

Üblicherweise werden Ergebnisse wie die Deposition in Anlehnung an die TA Luft, Nr. 2.9 in der gleichen Einheit und mit einer Dezimalstelle mehr als der für ihre Beurteilung relevante Zahlenwert ausgewiesen. Gemäß dieser Regelung wird das Endergebnis in der letzten Dezimalstelle nach DIN 1333, Nr. 4.5.1 gerundet und in der gleichen Einheit und mit der gleichen Stellenzahl wie der Beurteilungswert angegeben. Die durch eine Ausbreitungsrechnung bestimmte Stickstoff-Zusatzbelastung wird daher meist mit einer Dezimalstelle bzw. einer Genauigkeit von $0,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ermittelt (BMVBS, 2013). Eine Differenzbildung von Ergebnissen unterschiedlicher Betrachtungsfälle (z. B. Prognoseplanfall und Nullfall) erfolgt mit den nicht gerundeten Werten und erst das Ergebnis wird gerundet.

2 Schnittstellen zu Wirkungsfragen

Als Schnittstelle zu Wirkungsfragen wird von der Ausbreitungsrechnung die räumliche Verteilung der Deposition (in der Regel in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) bzw. daraus bestimmt das Säureäquivalent (in der Regel in $\text{eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) als Mittel über den Betrachtungszeitraum bereitgestellt. Wahlweise stehen auch die räumliche Verteilung der mittleren Konzentration (in der Regel in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) und die Zeitreihen der Werte für kleinere Mittelungszeiträume zur Verfügung.

Aus den Ergebnissen lassen sich Depositionswerte an vorgegebenen Aufpunkten und maximale Depositionswerte in einem vorgegebenen Abstand zur Quelle ablesen. Zusätzlich können weitere Größen ermittelt werden, beispielsweise die im Betrachtungszeitraum deponierte Menge an einem Aufpunkt, die in ein Gebiet eingetragene Gesamtmenge oder die Fläche, die von der Überschreitung eines Schwellenwerts betroffen ist.

Die räumliche Verteilung der Deposition bezieht sich auf die Verteilung, die unmittelbar aus dem Eintrag von der Luft in Boden und Vegetation resultiert. Eine Verdriftung im Boden, beispielsweise durch Gewässer, wird in den hier aufgeführten Modellierungsverfahren nicht betrachtet.

Bei der Interpretation der Modellergebnisse ist zu beachten, dass sie unmittelbar von den gewählten Eingangsgrößen abhängen. Beispielsweise ist die ausgewiesene Deposition direkt proportional zur angenommenen Emission.

Im Unterschied zu messtechnisch gewonnenen Werten ist die Güte der Modellaussagen unabhängig von der absoluten Größe der Emission bzw. Immission (siehe Abschnitt 1.1.6). Daher ist es nicht möglich, aus den Modelleigenschaften untere Abschneidekriterien oder andere Beurteilungswerte abzuleiten.

3 Ausblick

In diesem Sachstandbericht wurde versucht, Grundlagen, Besonderheiten und den aktuellen Stand der Technik zu Ausbreitungsrechnungen im Rahmen von FFH-Verträglichkeitsprüfungen zusammenzufassen. Die beschriebenen Vorgehensweisen beruhen zum Teil auf Vereinfachungen, weil entsprechende Grundlagendaten nicht vorhanden sind oder weil eine detailliertere Beschreibung zu komplex für ein praxisgerechtes Standardverfahren wäre. Dort, wo sich bisher noch keine allgemein akzeptierten Standards und Konventionen ergeben haben, wurden aktuell angewandte Vorgehensweisen aufgezeigt.

Die aufgeführten Vorgehensweisen haben sich in den letzten Jahren in zahlreichen Verfahren etabliert. Unsicherheiten bei der Beurteilung von Stoffeinträgen beruhen dabei weniger auf dem eingesetzten Ausbreitungsmodell als auf Unsicherheiten in der gesamten Modellkette, wie beispielsweise der Bandbreite der Eingangsdaten. Die größten Unsicherheiten in der aktuellen Praxis ergeben sich, weil keine einheitliche Bewertungsgrundlage, etwa analog zum Bewertungssystem der TA Luft, für die Stoffeinträge vorhanden ist.

Hinsichtlich eines einheitlichen Bewertungssystems und einer Aktualisierung von VDI-Richtlinien sind folgende Aspekte hervorgetreten:

- Die Verfahrensweise für die räumliche und zeitliche Übertragung von Niederschlagsdaten (beispielsweise die Ermittlung eines repräsentativen Jahres) ist derzeit nicht geregelt. Niederschlagsmessungen in der nötigen zeitlichen Auflösung liegen nur für einen Teil der Windmessstationen vor, sodass die Übertragbarkeit von Niederschlagsdaten häufig unklar ist. Im Auftrag des UBA wird zurzeit ein Forschungsvorhaben durchgeführt, in dem die Regionalisierung von Niederschlagsdaten für die Beispielregion Niedersachsen untersucht wird (RESTNI, 2013). Aus den Ergebnissen des Projektes lassen sich eventuell konkrete Hinweise für die Genehmigungspraxis entnehmen.
- Die Depositionsgeschwindigkeit hängt von der Landnutzung und meteorologischen Parametern ab und ist somit räumlich und zeitlich inhomogen. Die Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 liefert Konventionswerte, die die zeitliche Abhängigkeit in erster Näherung vernachlässigen und die Landnutzungsabhängigkeit nur zum Teil berücksichtigen. In einer Überarbeitung der Richtlinie könnte ein explizites Widerstandsmodells für ausgewählte gasförmige Stoffe vorgesehen werden. Hierbei ließen sich, soweit vorhanden, auch entsprechende F&E-Projekte und Modellergebnisse berücksichtigen.
- Bei der Ermittlung der Deposition aufgrund von Fahrzeugemissionen spielt im Nahbereich die fahrzeuginduzierte Turbulenz eine Rolle. Eine für die Praxis einheitliche Vorgehensweise zur Berücksichtigung der fahrzeuginduzierten Turbulenz fehlt bislang und könnte im Rahmen einer Richtlinie standardisiert werden.
- In anderen Fragestellungen, beispielsweise zur Geruchsbelastung, haben sich vereinfachte Verfahren für eine erste Relevanzabschätzung etabliert, z. B. Bagatellmassenströme nach Nr. 4.6.1.1 der TA Luft, Abstände nach VDI 3894 Blatt 2, Screening-Verfahren (z. B. Hartmann et al., 2007), nach denen unter bestimmten Voraussetzungen auf die Durchführung einer Ausbreitungsrechnung verzichtet werden kann. Eine Relevanzabschätzung für die Depositionsermittlung im Rahmen einer FFH-Verträglichkeitsprüfung existiert bislang nicht und könnte im Rahmen von VDI-Richtlinien erarbeitet werden. Im LAI-Leitfaden wird bereits ein Screening-Verfahren vorgeschlagen.
- Bei der Interpretation und Verwendung von Modellergebnissen muss berücksichtigt werden, für welchen Zweck sie ermittelt wurden und welche Einschränkungen demzufolge bei ihrer Interpretation bestehen. So lassen sich Ergebnisse von großräumigen Untersuchungen nicht immer ohne weiteres auf lokale Gegebenheiten übertragen, beispielsweise aufgrund des Unterschiedes in der räumlichen Auflösung.
- Anders als im Immissionsschutz erfolgt im Naturschutz für die FFH-Verträglichkeitsprüfung keine anlagenbezogene, sondern eine gebietsbezogene Betrachtung. Hierfür sind sinnvolle Regelungen erforderlich, insbesondere in Hinblick auf eine eindeutige Definition des Begriffs „Zusatzbelastung“ und auf eine in der Praxis nicht realisierbare Summation über sämtliche, theoretisch in ein FFH-Gebiet eintragende Emittenten. Vorhabensbezogene Abschneidewerte sind eine mögliche Lösung.
- Es erscheint eine Klärung notwendig, wie mit der Forderung, mithilfe einer Ausbreitungsrechnung immer kleinere Werte zu ermitteln, umzugehen ist.

In vielen Fällen sind solche Werte messtechnisch nicht mehr erfassbar und liegen unterhalb der Unsicherheiten anderer Bestandteile der Ermittlungs- und Bewertungskette. Generell wäre auch ein Blick auf Vorgehensweisen in anderen Ländern hilfreich (z. B. das AERIUS-Projekt in den Niederlanden).

- Wirkungsfragen sind nicht Thema dieses Sachstandsberichts, jedoch für eine Entscheidung über die Genehmigungsfähigkeit von zentraler Bedeu-

tung. Ein wichtiges Ziel zukünftiger Arbeiten wäre die bundesweit möglichst einheitliche Festlegung von entsprechenden Standards und Konventionen, unter anderem in Bezug auf **critical loads**, Bagatellschwellen und Summationsfragen. Für Festlegungen sind neben den naturschutzfachlichen Aspekten auch die Grenzen der möglichen Aussagegenauigkeit zu beachten, zum Beispiel in Bezug auf vorhandene Unsicherheiten und natürliche Schwankungen.

Schrifttum

Leitfäden, Bewertungshilfen

Bayern: Erstellung einer Arbeitshilfe zur Bewertung von Stoffeinträgen in Natura 2000-Gebiete. Dr. Jutta Köhler, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Kulmbach (in Erarbeitung)

Brandenburg: Vollzugshilfe zur Ermittlung erheblicher und irrelevanter Stoffeinträge in Natura 2000-Gebiete. Stand November 2008, Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes, Band 58. <http://www.brandenburg.de/cms/media.php/2338/vh2008e.pdf>

Nordrhein-Westfalen: Stickstoff-Leitfaden zur Bewertung stickstoffempfindlicher Biotope (NRW). Josef Hübschen, LANUV NRW, Recklinghausen (in Erarbeitung)

Rheinland-Pfalz: Auswirkungen von straßenbürtiger Stickstoffdeposition auf FFH-Gebiete.

KIFL: Leitfaden zur FFH-Verträglichkeitsprüfung Im Bundesfernstraßenbau (Leitfaden FFH-VP), Kieler Institut für Landschaftsökologie, Entwurf Mai 2010

LAI: Arbeitskreis „Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen“, Leitfaden. Abschlussbericht Langfassung, Entwurf 1. März 2012. <http://www.lanuv.nrw.de/landwirtschaft/zulassung/zulassung.htm>

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen

Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542)

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002

Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) vom 2. August 2010

Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsstoffimmissions-Richtlinie – GIRL) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

VDI- und DIN-Richtlinien

DIN 1333 (1992): Zahlenangaben

VDI 3782 Blatt 1 (2009): Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Gaußsches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionsgrößen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3782 Blatt 5 (2006): Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Depositionsparameter. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3783 Blatt 1 (1987): Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre – Ausbreitung von

störfallbedingten Freisetzen – Sicherheitsanalyse.
Berlin: Beuth Verlag

VDI 3783 Blatt 13 (2010): Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung in der Immissionsprognose – Anlagenbezogener Immissionsschutz – Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3783 Blatt 14 (2013): Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung in der Immissionsprognose – Kfz-bedingte Immissionen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3945 Blatt 3 (2000): Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell. Berlin: Beuth Verlag

Weitere Literatur

Bachhiesl, M.; Narodoslawsky, M. und P.J. Sturm, (2002): Berechnung des Depositionsflusses als Grundlage für ökotoxikologische Beurteilungen. UVP-report 1+2/2002

Bächlin, W.; Bössinger, R.; Brandt, A. und T. Schulz (2006): Überprüfung des NO-NO₂-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66, Nr. 4 (April)

Bäumer, D. (2003): Transport und chemische Umwandlung von Luftschadstoffen im Nahbereich von Autobahnen – Numerische Simulationen. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe Nr. 32, Juni 2003

Hartmann, U.; Janicke, L.; Janicke, U. und M. Hölscher (2007): SMOD – Ein Screeningmodell für Geruchsimmissionen. In: VDI-Berichte, Nr. 1995, S. 303–312

Janicke, U. und L. Janicke (2008): Auswaschen von SO₂, NO_x und Staub durch Regen: Modellparameter für Ausbreitungsmodelle nach VDI 3945 Blatt 3. Berichte zur Umweltp Physik Nummer 6, Auflage 1, Ingenieurbüro Janicke, ISSN 1439-8222

Stern, R. und Yarmatino, R.J. (2001): Development and first evaluation of micro-calgrid: a 3-D, urban-

canopy-scale photochemical model. Atmospheric Environment 35, S.149-165

Straub, W.; Hebbinghaus, H.; Sowa, A. und S. Wurzler (2013): Ermittlung von Stickstoff- und Säureeinträgen in Wäldern mit Langrangeschen Ausbreitungsmodellen: Vergleich unterschiedlicher Berechnungsmethoden. Immissionsschutz 1–13, S. 16–20

AERIUS (2013): AERIUS-Projekt. <http://www.aerius.nl>

BMVBS (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Autoren: Balla, S., R. Uhl, A. Schlutow, H. Lorentz, M. Förster, C. Becker, K. Müller-Pfannenstiel, L. Lüttmann, Th. Scheuschner, A. Kiebel, I. Düring und W. Herzog. Berichte zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Band 1099, BMVBS Abteilung Straßenbau, Bonn

RESTNI (2013): Regionalisierung stündlicher Niederschläge zur Modellierung der nassen Deposition

(RESTNI). Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau (WAWI) der Universität Hamburg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau, UFOPLAN 2010 FKZ 3710422182

UBA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Januar 2010. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin. <http://www.hbefa.net/d/start.html>

UBA (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland, Modelling of Air Pollutants and Ecosystem Impact

(MAPAESI). UFOPLAN 3707 64 200, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau, 2011

UBA (2012): Absatz 10 in: Vorbelastungsdatensatz Stickstoff – Erläuterungen des Umweltbundesamtes, Stand 15. Februar 2012. <http://gis.uba.de/website/depo1/index.htm>

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Ingenieure brauchen eine starke Vereinigung, die sie bei ihrer Arbeit unterstützt, fördert und vertritt. Diese Aufgabe übernimmt der VDI Verein Deutscher Ingenieure. Seit über 150 Jahren steht er Ingenieurinnen und Ingenieuren zuverlässig zur Seite. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Das überzeugt: Mit über 152.000 Mitgliedern ist der VDI die größte Ingenieurvereinigung Deutschlands.

Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDI-Gesellschaft Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL
Fachbereich Umweltmeteorologie
Tel. +49 211 6214-255
bruenger@vdi.de
www.vdi.de/krdl