

STICKSTOFF

VOM NÄHRSTOFF ZUM SCHADSTOFF

Stickstoff (N) ist ein Grundbaustein aller Organismen und daher für Menschen, Tiere und Pflanzen gleichermaßen essenziell. Durch menschliche Aktivitäten in den letzten hundert Jahren wurde das natürliche Gleichgewicht von Stickstoff stark gestört. Mensch und Umwelt sind zunehmend mit den schädlichen Wirkungen einer Überdosierung konfrontiert.

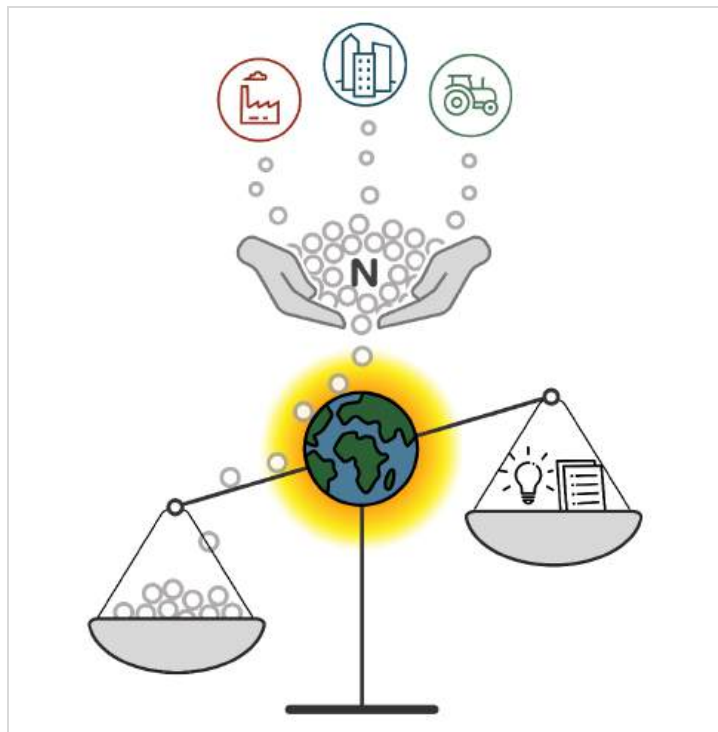
Formen von Stickstoff

- Unsere Atmosphäre besteht zu ca. 78 % aus inertem Stickstoff (N_2); er sorgt für die blaue Farbe unseres Himmels. Inerter, d.h. reaktionsträger Stickstoff, ist nur von wenigen Organismen in der Natur verwertbar.
- Die Umwandlung von N_2 in reaktiven Stickstoff (Nr) erfolgt unter natürlichen Bedingungen vorwiegend durch Stickstoff-Fixierung (etwa durch Knöllchenbakterien) aber auch bei Gewittern und vulkanischer Aktivität.
- Ammonium (NH_4) und Nitrat (NO_3) sind Formen von reaktivem Stickstoff und werden als Pflanzendünger eingesetzt. Sie sind wie die Gase Ammoniak (NH_3), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2) und Lachgas (N_2O) besonders relevant für Umwelt, Klima und Gesundheit.

Aus dem Gleichgewicht – planetare Belastungsgrenzen überschritten

Reaktiver Stickstoff ist im Gegensatz zum atmosphärischen Stickstoff ein knappes Gut im natürlichen Stoffhaushalt. Das war früher insbesondere für die landwirtschaftliche Produktion eine Herausforderung: Zusätzlicher Stickstoff für die Düngung konnte nur aus natürlichen, knappen Quellen gewonnen werden, wie beispielsweise Guano. Durch die Entwicklung und Anwendung des Haber-Bosch Verfahrens Anfang des 20. Jahrhunderts konnte atmosphärischer Stickstoff für die Herstellung von Mineraldünger genutzt werden. Die höhere Ernährungssicherheit durch den Einsatz von Mineraldünger führte zu einem sprunghaften Anstieg der Weltbevölkerung.

*Abbildung 1:
Illustration des vom Menschen
gestörten Gleichgewichts von
reaktivem Stickstoff in der Umwelt
und die Überschreitung der
planetaren Belastungsgrenze.*



Menschliche Aktivitäten haben den natürlichen Stickstoffkreislauf stark verändert. Seit der Industriellen Revolution Mitte des 19. Jahrhunderts wird mehr als das Zehnfache des vorindustriellen Niveaus in reaktive Stickstoffverbindungen umgewandelt. Neben dem Haber-Bosch Verfahren spielt dabei die Verbrennung fossiler Energieträger eine wesentliche Rolle.

Entstehung und Abbau von reaktivem Stickstoff halten sich nicht mehr die Waage. Es wird mehr Stickstoff in die Umwelt eingetragen, als Organismen verwerten können. Das führt zu Überschreitungen der planetaren Belastungsgrenzen für reaktiven Stickstoff und damit verbunden zu negativen Auswirkungen für Klima, Ökosysteme, biologische Vielfalt und menschliche Gesundheit.

Negative Folgen von Stickstoff-Emissionen in die Umwelt

- Luftverschmutzung, Feinstaub
- Verstärkung des Klimawandels
- Ozonabbau in der Stratosphäre
- Wasserverschmutzung
- Nährstoffübersättigung (Eutrophierung)
- Versauerung von Ökosystemen
- Verlust von biologischer Vielfalt

Der Umgang mit Stickstoff ist eine globale Herausforderung, der sich auch die Vereinten Nationen stellen: Mehr als die Hälfte der UN-Nachhaltigkeitsziele (1,2,3,6,11,12,13,14,15) für eine globale, nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft sind direkt oder indirekt mit Stickstoff verbunden. Um diese Ziele zu erreichen, ist es notwendig, reaktive Stickstoff-Flüsse sektorenübergreifend zu betrachten.

Da reaktiver Stickstoff sehr wandelbar und mobil ist, können Maßnahmen zur Reduktion in einem Umweltbereich zu negativen Auswirkungen in einem anderen führen bzw. diese verstärken. Man spricht von einer sogenannten Stickstoffkaskade. Um die Emissionen zu reduzieren und Verlagerungseffekte zu vermeiden, ist eine Betrachtung über alle Umweltbereiche und deren Wechselwirkungen eine wichtige Voraussetzung für ein nachhaltiges Stickstoffmanagement.

Nationales Stickstoffbudget

Um Stickstoffkaskaden zu erfassen, werden sie in einem nationalen Stickstoffbudget dargestellt. Darin werden

- Einträge und Austräge von reaktivem Stickstoff quantifiziert,
- Wechselwirkungen zwischen den Sektoren erkannt und
- Risikobereiche sowie Handlungsbedarf identifiziert.

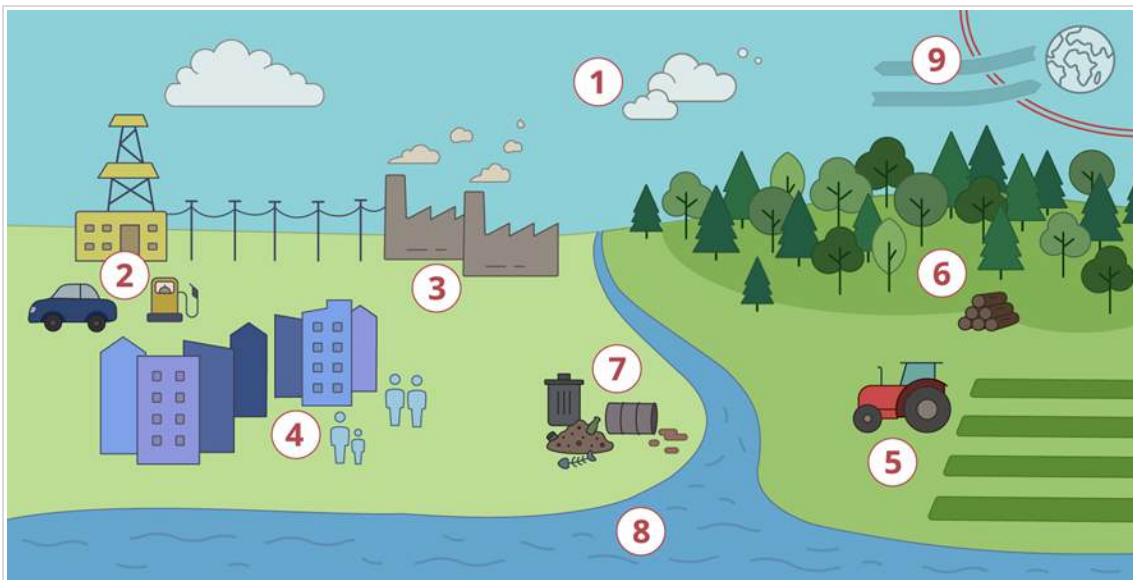
Das nationale Stickstoffbudget ist daher eine wichtige Grundlage für ein strategisches Stickstoffmanagement, um Stickstoff nachhaltig zu nutzen und eine Basis für die Evaluierung der umgesetzten Maßnahmen zu schaffen. Weiter bietet es die Möglichkeit, Stickstoff-Flüsse über die Zeit zu monitoren.

Harmonisierte internationale Standards zur Erstellung des Stickstoffbudgets sind im EPNB –Leitfaden ([United Nations Economic and Social Council, 2021](#)) dargelegt und ermöglichen einen Vergleich auf internationaler Ebene.

Im Stickstoffbudget erfasste Sektoren:

1. Atmosphäre
2. Energiewirtschaft und Verkehr
3. Industrielle Produktion
4. Menschen und Siedlungen
5. Landwirtschaft
6. Wald und semi-natürliche Vegetation
7. Abfallwirtschaft und Abwasserentsorgung
8. Hydrosphäre
9. Grenzüberschreitende Stickstoff-Flüsse (Importe und Exporte)

Abbildung 2: Schematische Darstellung der ausgewerteten Sektoren im Stickstoffbudget



Nationales Stickstoffbudget für Österreich

Das Umweltbundesamt hat erstmals ein nationales Stickstoffbudget nach harmonisierten, internationalen Standards erstellt. Es beschreibt die Mengen, Quellen und Senken der reaktiven Stickstoffverbindungen in Österreich für den Zeitraum 2015 bis 2019. Eines der Ziele dieser Studie war es, die direkten Einträge von reaktivem Stickstoff in die Umwelt zu erheben und die Ergebnisse für die einzelnen Sektoren zu erfassen. Die Herangehensweise und die detaillierten Ergebnisse sind im Bericht [Nationales Stickstoffbudget \(2015-2019\) gemäß EPNB-Leitfaden](#) veröffentlicht.

Die wichtigsten Ergebnisse im Überblick:

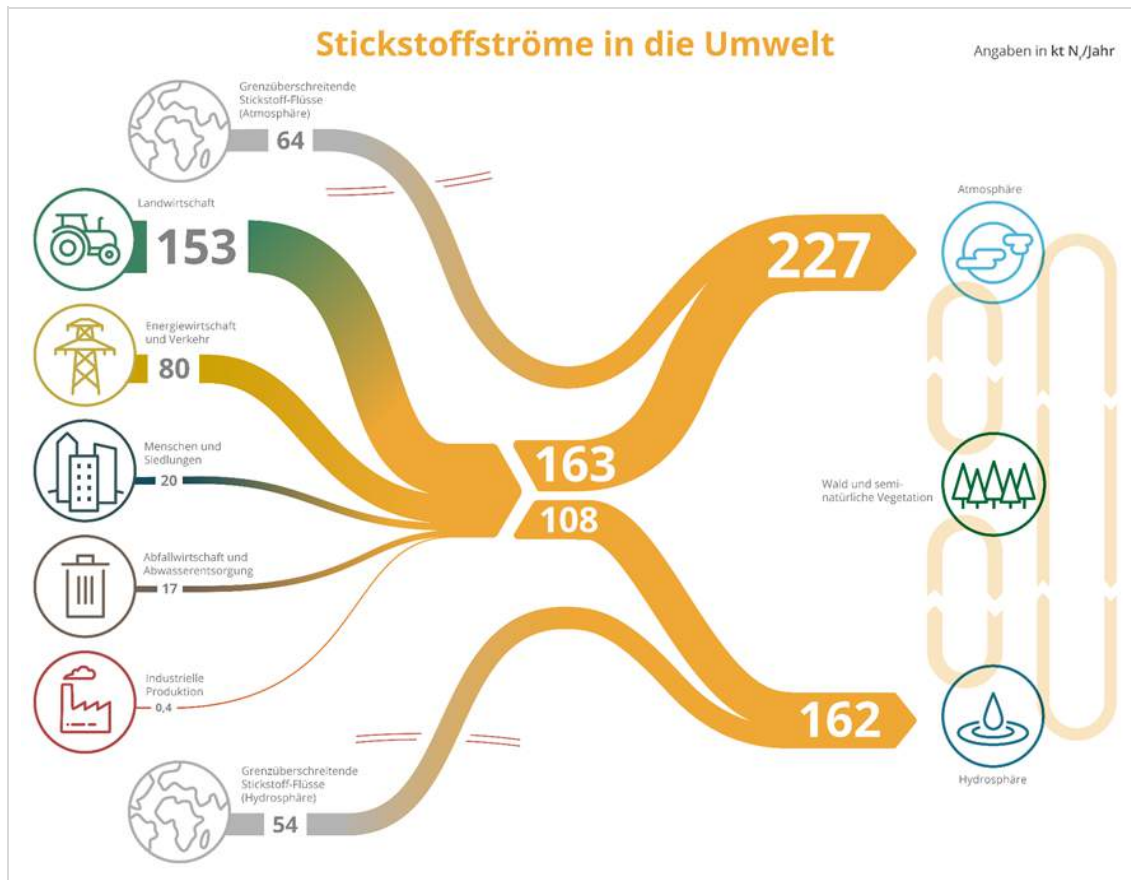
Das nationale Stickstoffbudget zeigt, dass die größten Ein- und Austräge von Stickstoff in Österreich die Importe und Exporte für die Konsumgüterindustrie und die chemische Industrie darstellen. Ein weiterer, großer Zufluss erfolgt durch den Import von Energieträgern. Der Saldo aus Import (1.515 kt N/a) und Export (1.121 kt N/a) ergibt einen Importüberschuss von 394 Kilotonnen Stickstoff jährlich. Ein Teil des Stickstoffs kann auch vorübergehend gespeichert sein (z. B. in Produkten) oder zwischen einzelnen Bereichen transferiert werden. Für die Umwelt sind davon nur die reaktiven Formen von Stickstoff relevant, die für Organismen leicht verfügbar sind. Mittels Haber-Bosch-Verfahren werden in Österreich aus atmosphärischen Stickstoff (N_2) jährlich 417 kt reaktiver Stickstoff (Nr) erzeugt und in Umlauf gebracht. Durch biologische Stickstofffixierung – der wichtigsten natürlichen Quelle im Stickstoffkreislauf – entstehen dagegen nur rund 33 kt N/a.

Jährlich gelangen rund 389 kt reaktiver Stickstoff (Nr) in Österreich in die Umwelt und verteilen sich zunächst über die Atmosphäre und Gewässer hin zu Wald und Semi-natürlichen Flächen.

Die direkten Einträge von reaktivem Stickstoff (ohne N_2 -Flüsse) in die Umwelt stammen vorwiegend aus den Sektoren Landwirtschaft (39 %) sowie Energiewirtschaft und Verkehr (21 %). Weitere ca. 30 % der Einträge erfolgen über grenzüberschreitende Frachten via Wasser (14 %) und Luft (17 %). Die restlichen knapp 10 % entfallen auf die Sektoren Menschen und Siedlungen, Abfall- und Abwasserentsorgung sowie industrielle Produktion.

Die reaktiven Stickstoffeinträge in die Umwelt von insgesamt 389 kt N/a setzen sich zusammen aus 29 % NO_x , 20 % NO_3 , 14 % NH_3 , 8 % NH_y und 2 % N_2O . Die restlichen 27 % wurden als N gesamt berechnet ohne nähere Aufschlüsselung.

Abbildung 3: Nationale und grenzüberschreitende Einträge von reaktivem Stickstoff in die Umwelt. Mengenangaben auf Kilotonnen pro Jahr gerundet.



ERGEBNISSE DES STICKSTOFFBUDGETS NACH SEKTOREN

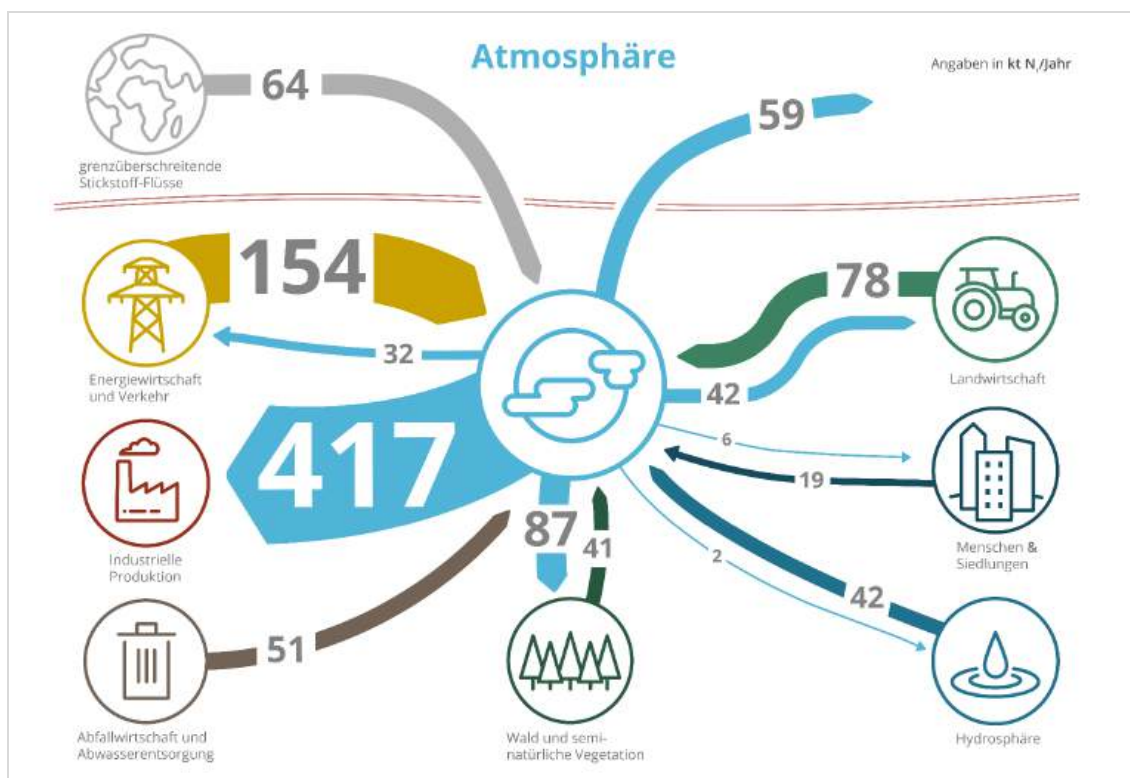
Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse nach Sektoren dargestellt, unter Berücksichtigung der Ein- und Austräge >1 kt N/a, Angaben auf Kilotonnen gerundet. Im Text werden die wichtigsten einzelnen Ströme beschrieben. Zur leichteren Übersicht sind in den Flussdiagrammen die Stickstoffströme jeweils in der Farbe des Sektors aufsummiert dargestellt, aus dem sie stammen.

1. Atmosphäre

Die Atmosphäre nimmt eine wichtige Rolle im österreichischen Stickstoffbudget ein, da sie mit allen anderen Sektoren im Austausch steht.

Die biologische Stickstofffixierung (33 kt N/a) und vor allem die technische Ammoniaksynthese (417 kt N/a) machen die Atmosphäre neben dem Import aus anderen Ländern zu einer der wichtigsten Quellen von reaktivem Stickstoff in Österreich. Über die atmosphärische Deposition gelangen 109 kt N/a in andere Sektoren. Andererseits werden reaktive Stickstoffverbindungen im Zuge von Verbrennungs- und Abbauprozessen auch in nicht reaktiven Stickstoff (N_2) umgewandelt und wieder an die Atmosphäre abgegeben (92 bzw. 98 kt N/a). Der atmosphärische Transport über die Grenzen Österreichs hinweg ist mit 64 kt N/a Import und 59 kt N/a Export relativ ausgeglichen.

Abbildung 4: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff in die Atmosphäre.



In Österreich gelangen jährlich rund 227 kt reaktiver Stickstoff in die Atmosphäre. Von den umweltrelevanten Stickstoff-Emissionen entfallen zumindest 86 kt N/a auf Stickstoffoxide (NO_x), 54 kt N/a auf Ammoniak (NH_3) und 9 kt N/a auf Lachgas (N_2O).

Während 90 % der NO_x -Emissionen aus dem Energiesektor stammen, entstehen in der Landwirtschaft die meisten NH_3 -Emissionen (92 %). Auch mehr als die Hälfte aller N_2O Emissionen entstehen im Landwirtschaftssektor.

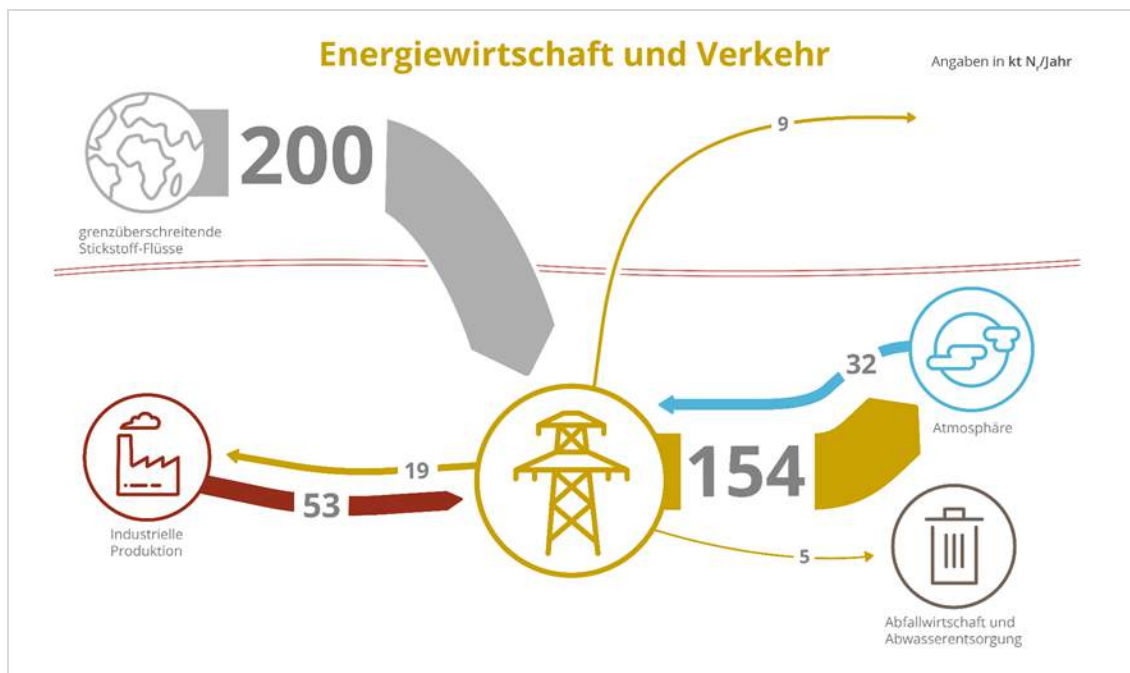
2. Energiewirtschaft und Verkehr

Der Sektor Energiewirtschaft und Verkehr umfasst alle Brennstoffverbrennungs- und Energiewandlungsaktivitäten aus Industrie, Verkehr, und Haushalten.

Insgesamt beträgt die Summe der Einträge 285 kt N/a während die Summe der Austräge rd. 187 kt N/a ausmacht. Unter Berücksichtigung von Lageränderungen ergibt sich ein Überschuss von 92 kt N/a.

Die größten Einträge in Österreich stellen die grenzüberschreitenden Importe von Energieträgern mit rd. 200 kt N/a gefolgt von der Luft-Stickstoff-Zufuhr in der Verbrennung (rd. 32 kt N/a) dar.

Abbildung 5: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor Energiewirtschaft und Verkehr.



Stickstoff-Austräge entfallen hauptsächlich auf Emissionen in die Atmosphäre, wovon mehr als die Hälfte (53 %) direkt umweltwirksame reaktive Stickstoffverbindungen (vorwiegend NO_x) ausmachen. Der Rest wird wieder als N_2 an die Luft abgegeben. Der größte Teil dieser Emissionen steht im Zusammenhang mit der thermischen Nutzung von Energieträgern.

3. Industrielle Produktion

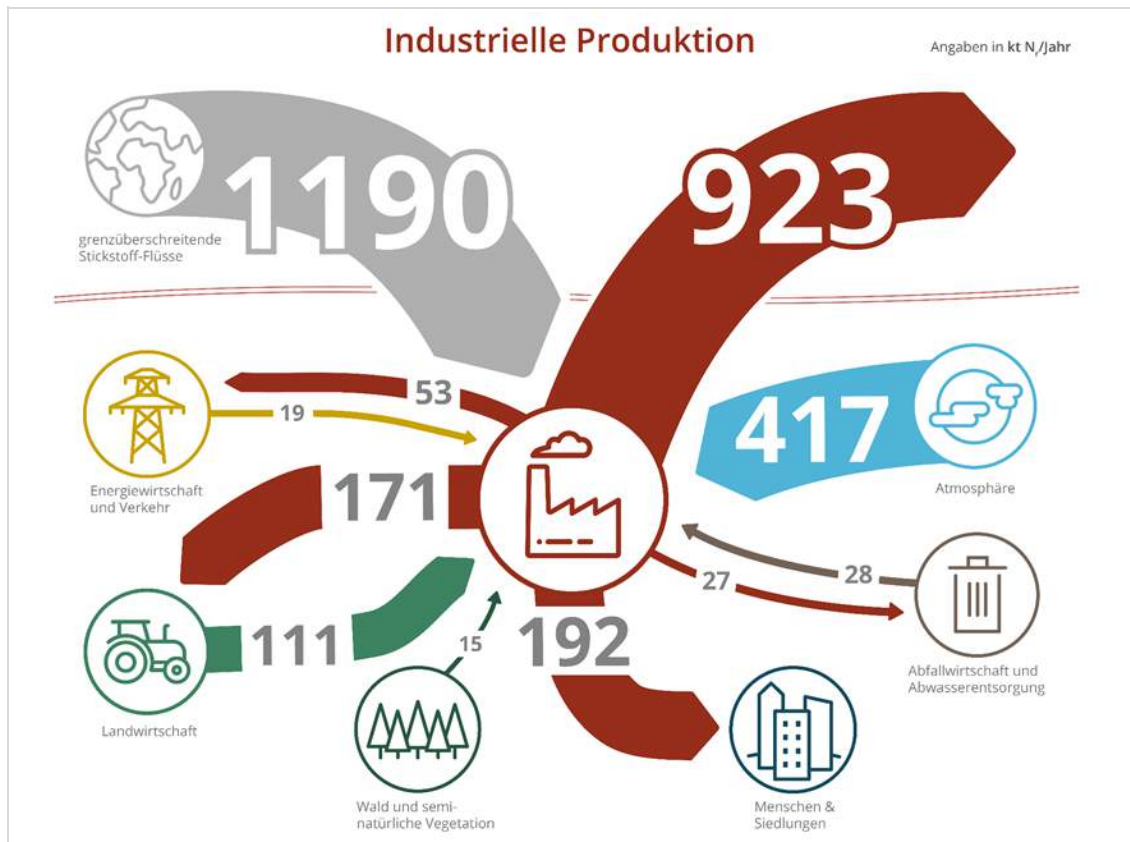
Der Sektor Industrielle Produktion umfasst Stickstoff-Flüsse aus industriellen Prozessen, bei denen Güter umgewandelt werden, um höherwertige Produkte zu erzeugen.

Insgesamt beträgt die Summe der Einträge aus anderen Sektoren rd. 1.780 kt N/a, während die Summe der Austräge rd. 1.365 kt N/a ausmacht. Daher ergibt sich ein Überschuss von rd. 415 kt N/a für die ermittelten Stickstoff-Flüsse.

Die größten Einträge sind auf Importe (1.190 kt N/a) für Konsumgüter, chemische Produkte und die Einfuhren von Nahrungs- und Futtermitteln zurückzuführen. Ein wesentlicher Eintrag erfolgt auch durch die Ammoniak-Synthese (417 kt N/a). Der Prozess der Ammoniakherstellung basiert auf der Ammoniaksynthese-Reaktion von Stickstoff mit Wasserstoff zur Bildung von wasserfreiem, flüssigen Ammoniak und ist auch als Haber-Bosch-Verfahren bekannt.

Die größten Stickstoff-Austräge stellen Exporte (923 kt N/a) der chemischen Industrie, von Konsumgütern und Ausfuhren der Ernährungswirtschaft dar. Weitere wesentliche Austräge entfallen auf chemische Grundstoffe zur Herstellung von Konsumgütern, Konsumgüter selbst und Mineraldünger.

Abbildung 6: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor industrielle Produktion.



Der Sektor Industrielle Produktion verzeichnet selbst nur geringe direkte Emissionen in die Umwelt, diese entstehen erst durch die Anwendung der Produkte in den entsprechenden Sektoren.

4. Menschen und Siedlungen

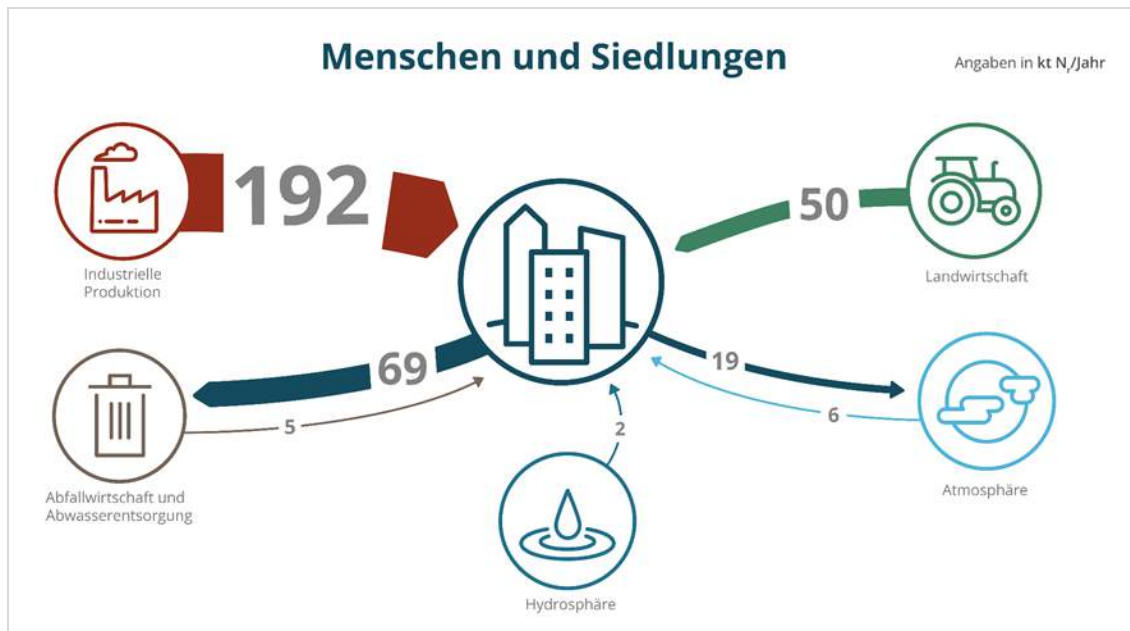
Dieser Sektor beschreibt die Stickstoff-Flüsse, die von Menschen durch Ernährung, Haushalt, Wohnen und Konsum verursacht werden.

Insgesamt beträgt die Summe der Einträge rd. 255 kt N/a und die Summe der Austräge rd. 88 kt N/a, wobei hier auch Verschiebungen von Stickstoff-Beständen durch Landnutzungsänderungen inkludiert sind. Ohne diese rechnerischen Verlagerungen ergibt sich ein Gesamtüberschuss von 117 kt N/a für die ermittelten Stickstoff-Flüsse.

Die größten Einträge stammen aus Konsumgütern (133 kt N/a), Nahrungs- und Futtermitteln (rd. 56 kt N/a). Durch die Anhäufung von Konsumgütern wird die Menge an gebundenem Stickstoff im Sektor Menschen und Siedlungen kontinuierlich erhöht.

Austräge entfallen hauptsächlich auf Abwässer aus Haushalten und dem Siedlungsbereich (36 kt N/a) sowie auf Abfälle von Haushalten, Haustieren und aus dem Dienstleistungssektor (33 kt N/a).

Abbildung 7: Die Abbildung zeigt die nationalen und grenzüberschreitenden Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor Menschen und Siedlungen.



Durch den Bodenverbrauch (Konvertierung von Wald und landwirtschaftlichen Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen) entstehen rd. 19 kt N/a an Emissionen von reaktiven Stickstoffverbindungen in die Atmosphäre.

5. Landwirtschaft

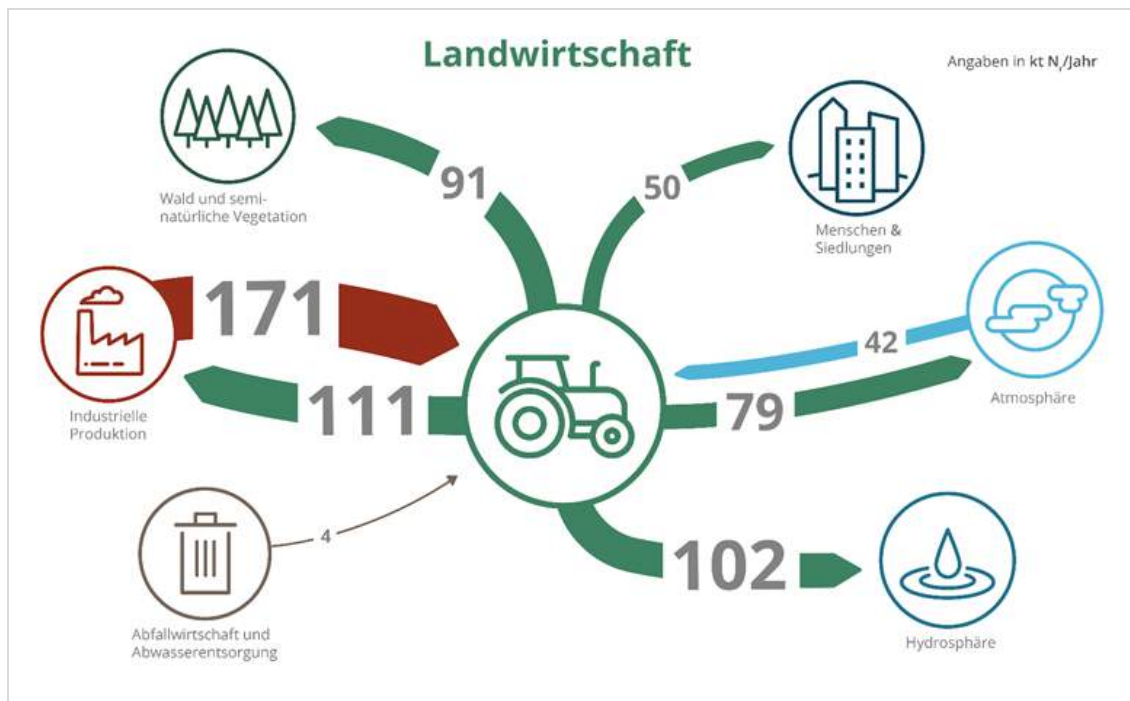
Der Sektor Landwirtschaft umfasst die Stickstoff-Flüsse der Tier-, Pflanzen- und Biogasproduktion.

Insgesamt beträgt die Summe der Einträge rd. 217 kt N/a und die Summe der Austräge 433 kt N/a, wobei hier auch Verschiebungen von Stickstoff-Beständen durch Landnutzungsänderungen inkludiert sind. Ohne Berücksichtigung der Verlagerungen und Emissionen durch Landnutzungsänderungen ergibt sich ein rechnerisches Defizit von 65 kt N/a. Allerdings wurde im vorliegenden Ansatz lediglich die Vorfruchtwirkung von einzelnen Leguminosen, die als Ackerkulturen angebaut werden, als Stickstoff-Zufuhr durch biologische Stickstoff-Fixierung angesetzt. Würde man die gesamte biologische Stickstoff-Fixierungsleistung von Acker- und auch Grünlandflächen berücksichtigen, wäre die Bilanz nahezu ausgeglichen. Futtermittel aus innerbetrieblicher Erzeugung (122 kt N/a) und Wirtschaftsdünger abzüglich der Stickstoffverluste in die Umwelt (126 kt N/a) werden als Ströme innerhalb der Landwirtschaft betrachtet und fließen als solche nicht in die Sektorbilanz mit ein.

Die wichtigsten Stickstoff-Einträge aus anderen Sektoren sind Mineraldünger (115 kt N/a) und Futtermittel aus industrieller Herstellung (53 kt N/a) sowie atmosphärische Einträge über Deposition und biologische Stickstofffixierung (42 kt N/a).

Über landwirtschaftliche Erzeugnisse werden 111 kt N/a ausgetragen, wovon etwa zwei Drittel auf tierische und ein Drittel auf pflanzliche Produkte entfällt.

Abbildung 8: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor Landwirtschaft



Die direkten Einträge von reaktiven Stickstoffverbindungen in die Umwelt umfassen in Summe 152 kt N/a. Davon sind 92 kt N/a Emissionen in Gewässer (vorwiegend in Form von NO_3) und 60 kt N/a Emissionen in die Atmosphäre (mit ca. 50 kt N/a in Form von NH_3 , die zu etwa gleichen Teilen in der Pflanzenproduktion und der Tierproduktion entstehen, 5 kt N/a als N_2O und 3 kt N/a als NO_x).

6. Wald und semi-natürliche Vegetation

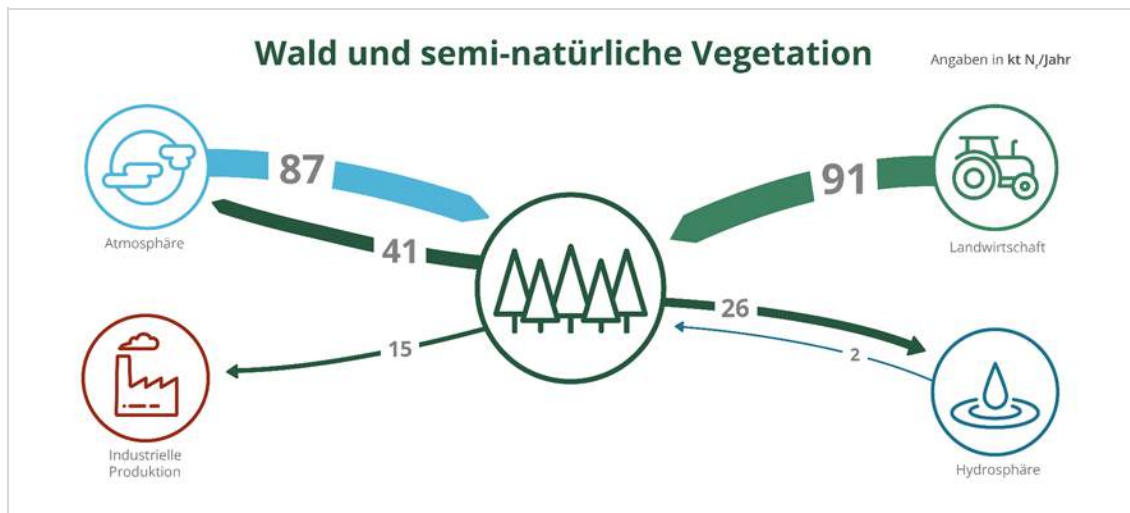
Der Sektor Wald und semi-natürliche Flächen umfasst forstwirtschaftlich genutzte und ungenutzte Wälder sowie alle unbewaldeten Flächen, die nicht in den Sektoren Landwirtschaft, Menschen und Siedlungen sowie Gewässer erfasst sind.

Insgesamt beträgt die Summe der Einträge 180 kt N/a und die Summe der Austräge 81 kt N/a, wobei hier auch Verschiebungen signifikanter Mengen durch Landnutzungsänderungen sowie Änderungen im N-Gehalt von Biomasse und Boden inkludiert sind. Abgesehen von rechnerischen Verschiebungen durch Landnutzungsänderungen und Lageränderungen im Bestand ergibt sich ein geringer Gesamtüberschuss von 7 kt N/a.

Stickstoff gelangt im Wesentlichen über drei Prozesse in den Sektor „Wald und semi-natürliche Flächen“: über atmosphärische Deposition (60 kt N/a), biologische Stickstofffixierung (27 kt N/a) und im Zuge der Konvertierung von landwirtschaftlichen Flächen (91 kt N/a) zu Wald und semi-natürlichen Flächen.

Austräge entfallen etwa zur Hälfte auf Emissionen in die Atmosphäre (41 kt N/a) und zu einem Drittel auf Austräge in die Hydrosphäre (26 kt N/a). Zusätzlich werden 15 kt N/a mit dem Holzeinschlag einer stofflichen oder energetischen Nutzung zugeführt.

Abbildung 9: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor Wald und semi-natürliche Vegetation.



Die direkten Einträge von reaktiven Stickstoffverbindungen in die Umwelt umfassen in Summe 58 kt N/a. Davon gehen 44 % ins Grundwasser (hauptsächlich als Nitrat) und 55 % in die Atmosphäre (N_2O und NO_x). Annähernd die Hälfte der gesamten Emissionen in die Atmosphäre stammen aus Landnutzungsänderungen: 19 kt N/a resultieren aus der Umwandlung von landwirtschaftlichen Flächen in semi-natürliche Flächen, und 5 kt N/a emittieren bei der Umwandlung von landwirtschaftlichen Flächen in Wald.

7. Abfallwirtschaft und Abwasserentsorgung

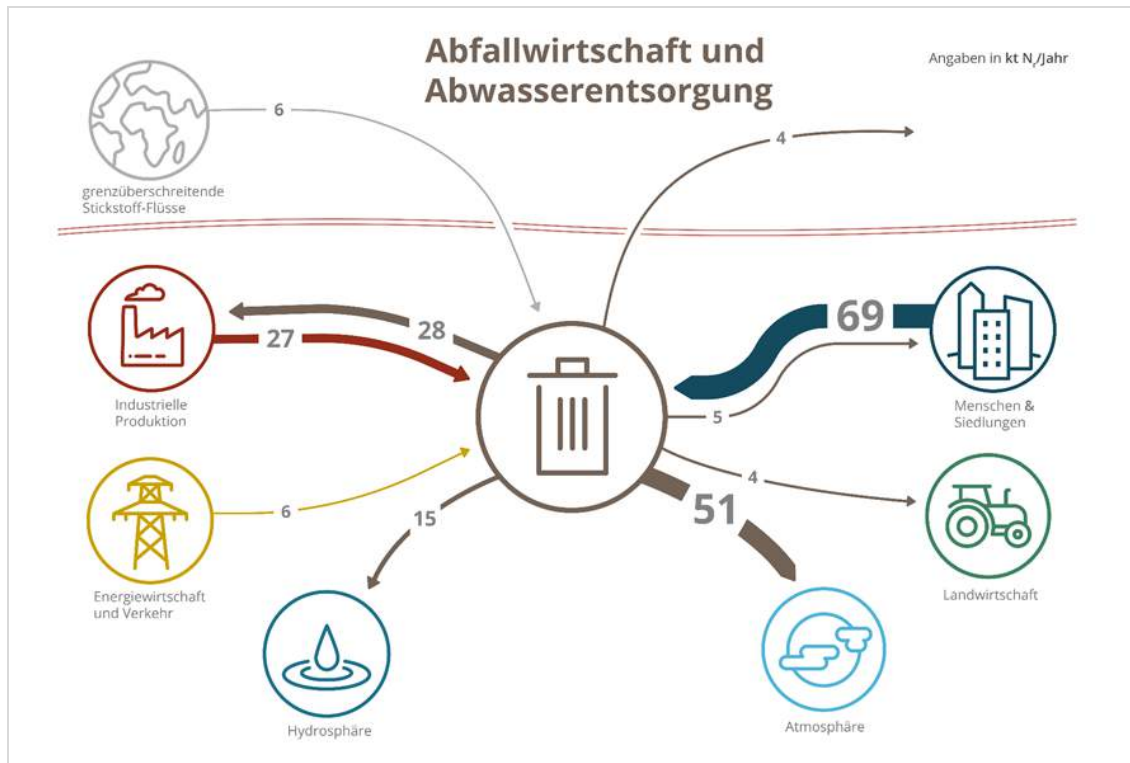
Im Sektor Abfallwirtschaft und Abwasserentsorgung werden die Stickstoff-Flüsse aus Abfällen, der Behandlung und der Entsorgung (fest und flüssig) sowie aus der Abwasserbehandlung und -entsorgung betrachtet.

Mit Einträgen von insgesamt rd. 108 kt N/a und Austrägen in einer Gesamthöhe von rd. 107 kt N/a bilanziert der Sektor Abfallwirtschaft und Abwasserentsorgung relativ ausgeglichen.

Die größten Einträge stammen mit rd. 60 kt N/a aus Abwässern aus dem Siedlungsbereich sowie verschiedenen Industriesektoren.

Die größten Austräge entfallen auf Emissionen in die Atmosphäre (rd. 51 kt N/a). Der größte Teil dieser Emissionen steht im Zusammenhang mit der Denitrifikation aus Kläranlagen (29 kt N/a) sowie der thermischen Nutzung von Abfällen und Klärschlämmen (20 kt N/a). Die Austräge durch das Recycling von Abfallstoffen machen rd. 28 kt N/a aus.

Abbildung 10: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor Abfallwirtschaft und Abwasserentsorgung.



Umweltrelevante Emissionen von reaktiven Stickstoffverbindungen entstehen im Umfang von 17 kt N/a, wovon 90 % in die Hydrosphäre und 10 % in die Atmosphäre gelangen.

8. Hydrosphäre

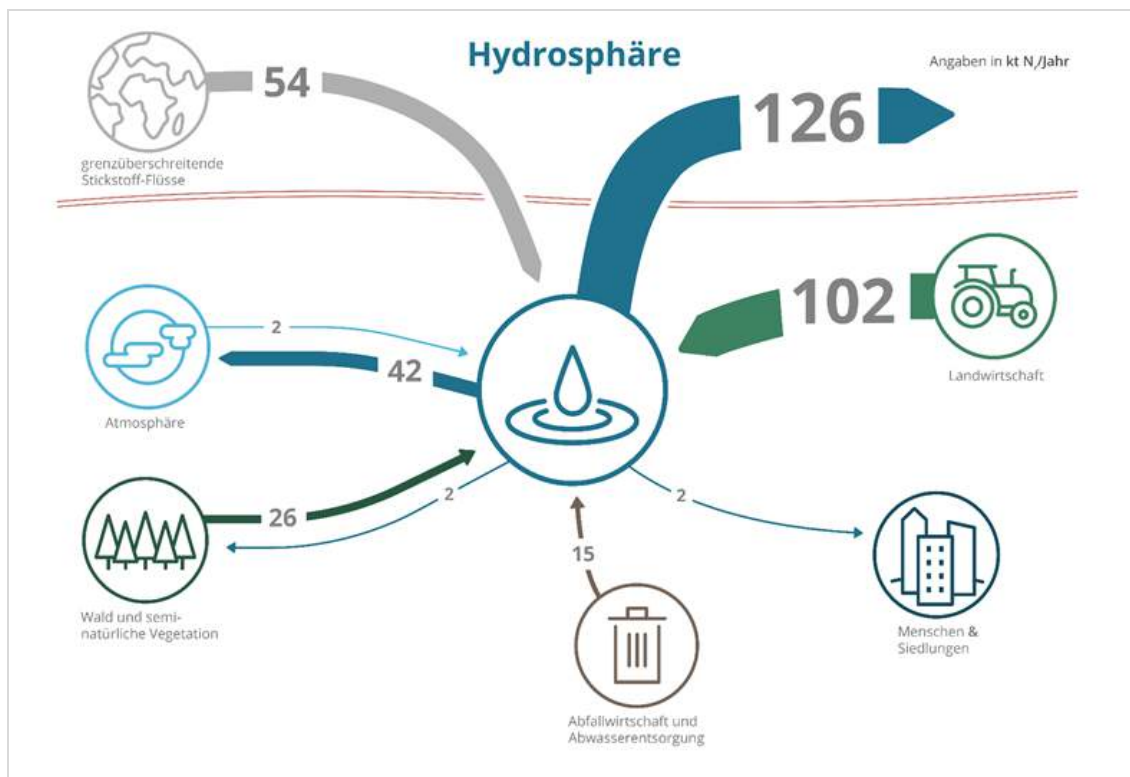
Der Sektor Hydrosphäre umfasst alle punktuellen und diffusen Stickstoffeinträge in Oberflächengewässer und in das Grundwasser.

Insgesamt beträgt die Summe der Einträge rd. 199 kt N/a, jene der Austräge rd. 172 kt N/a, wobei hier auch Verschiebungen von N-Beständen durch Landnutzungsänderungen inkludiert sind. Abgesehen von rechnerischen Verschiebungen durch Landnutzungsänderungen zw. Wald, landwirtschaftlichen Flächen und Oberflächengewässern ergibt sich daraus ein Gesamtüberschuss für den Sektor Hydrosphäre von 19 kt N pro Jahr.

Rund die Hälfte aller N-Einträge in die Gewässer stammt aus der Landwirtschaft, wovon mit 76 kt N/a der Großteil als Sickerwasser ins Grundwasser gelangt und 16 kt N/a über Oberflächenabfluss in Fließgewässer und Seen (weitere 10 kt N/a entfallen auf Landnutzungsänderungen). Der zweitgrößte Eintrag erfolgt mit 54 kt N/a als Zufluss aus Oberliegerstaaten. Weitere Einträge erfolgen aus Wald und semi-natürlichen Flächen (26 kt N/a), Kläranlagenabfluss (15 kt N/a) und in geringerem Ausmaß durch atmosphärische Deposition (2 kt N/a).

Der größte Austrag mit 126 kt N/a erfolgt mit dem Oberflächenabfluss an Unterliegerstaaten. Verglichen mit dem Zufluss aus Oberliegerstaaten von 54 kt N/a ergibt sich somit eine deutliche Erhöhung der N-Fracht in Oberflächengewässern innerhalb Österreichs. 42 kt N/a verlassen den Sektor „Hydrosphäre“ über Denitrifikationsprozesse, mehrheitlich über Denitrifikation in der ungesättigten Zone und im Grundwasser.

Abbildung 11: Nationale und grenzüberschreitende Ein- und Austräge von Stickstoff im Sektor Hydrosphäre.



Sämtliche Einträge von rd. 199 kt N/a in die Hydrosphäre stellen reaktive Stickstoffverbindungen dar, wovon 102 kt N/a ins Grundwasser gehen (vorwiegend als Nitrat) und 97 kt N/a in Oberflächengewässer.

9. Grenzüberschreitende Stickstoff-Flüsse (Importe und Exporte)

Der Sektor Grenzüberschreitende Stickstoff-Flüsse umfasst alle Ein- und Austräge, die durch Import oder Export nach Österreich gelangen. Dazu zählen auch die Importe von gas- und partikelförmigen Verbindungen oder die Stickstoff-Fracht aus Gewässern.

Insgesamt beträgt die Summe der grenzüberschreitenden Einträge 1.515 kt N/a, während die Summe der grenzüberschreitenden Austräge 1.121 kt N/a ausmacht. Unter Berücksichtigung der Lageränderungen in den verschiedenen Sektoren, ergibt sich ein Überschuss von 561 kt N/a.

Von den Einträgen entfällt die überwiegende Mehrheit (1.396 kt N/a) auf den Güterimport und nur ein geringerer Teil auf natürliche Einträge mit atmosphärischen Strömungen (64 kt N/a) und Fließgewässern (54 kt N/a). Den größten Anteil im Güterimport weisen Konsumgüter in Form von gebundenem Stickstoff mit 727 kt N/a auf, gefolgt von Produkten für die chemische Industrie (368 kt N/a) und Energieträgern (200 kt N/a).

Die größten Austräge entfallen auf den Export von Konsumgütern (612 kt N/a) und von Produkten der chemischen Industrie (237 kt N/a). Mengenmäßig bedeutend ist auch der Abfluss von Stickstoff in Fließgewässern ins benachbarte Ausland (126 kt N/a).

Grenzüberschreitende Einträge von reaktivem Stickstoff in die Umwelt umfassen in Summe 118 kt N/a über den atmosphärischen Ferntransport (54 %) und den Zustrom über Fließgewässer (46 %).

FAZIT

Durch die Erfassung von Stickstoffkaskaden wird sichergestellt, dass durch Maßnahmen in einzelnen Sektoren nicht lediglich eine Verschiebung der Belastung auf andere Bereiche erfolgt, sondern eine ganzheitliche Reduktion der Stickstoffbelastung angestrebt wird. Das Stickstoffbudget erfasst nicht nur die sektorübergreifenden N-Flüsse, sondern berücksichtigt auch Bestandsänderungen und Verlagerungen innerhalb der Systeme. Ziel der Materialflussanalyse ist jeweils eine möglichst geschlossene Bilanz. Da einige Berechnungen mit größeren Unsicherheiten behaftet sind, ist ein rechnerischer Überschuss in einzelnen Sektorbilanzen nicht zwangsläufig mit einer Anreicherung gleichzusetzen, sondern kann auch auf unvollständig quantifizierte N-Flüsse bzw. Lageränderungen hinweisen.

Obwohl nur ein Teil des gesamten N-Umsatzes als reaktiver Stickstoff in die Umwelt gelangt, ist es unerlässlich, sämtliche Stickstoffverbindungen zu erfassen, da diese im Verlauf der Prozessketten in reaktive Formen umgewandelt werden können und somit zur Umweltbelastung beitragen können. So verzeichnet beispielsweise der Sektor „Industrielle Produktion“ mit dem höchsten Stickstoffumsatz selbst nur geringe Nr-Emissionen in die Umwelt, diese entstehen erst durch die Anwendung der Produkte in anderen Sektoren. Reaktive Stickstoffverbindungen geraten vorrangig über die Sektoren Landwirtschaft sowie Energiewirtschaft und Verkehr in die Umwelt (siehe Abbildung 3).

Die Ergebnisse des Stickstoffbudgets zeigen die Komplexität und den Umfang der Wechselwirkungen von reaktivem Stickstoff auf und verdeutlichen die Notwendigkeit einer übersektoralen Steuerung in Umweltfragen.

Autor:innen:

Ika Djukic, Harald Loishandl-Weisz, Carina Broneder, Bettina Schwarzl, Simone Mayer, Oliver Gabriel, Philip Sander, Thomas Dirnböck, Helga Lindinger, Nicole Mandl, Christian Nagl, Peter Weiss, Stephan Poupa, Sabine Enzinger (Umweltbundesamt)

Julia Tanzer (Proman Management GmbH)

Grafik:

Felix Eisenmenger, Ivo Offenthaler, Christina Schaufler (Umweltbundesamt)