

Der Einfluss von Ernährungsgewohnheiten auf die Nährstoffbilanz Österreichs

Zusammenfassung: Die Erzeugung von für die Ernährung notwendigen Nahrungsmitteln benötigt Ressourcen. Pflanzennährstoffe, für die Erzeugung von Futter und Nahrungsmitteln, werden in Form von Dünger auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht. Die auf diesen Flächen produzierten Produkte enthalten aber nur einen Teil des aufgebrachten Düngers. Ein Teil der Nährstoffe gelangt in die Gewässer, ein anderer Teil gelangt als NH_x , NO_x , N_2O oder N_2 in die Atmosphäre. Ziel dieses Artikels ist die Darstellung aller relevanten Stickstoff (N) und Phosphor (P)-Flüsse, die mit der Produktion von Nahrungsmitteln sowie deren Verzehr zusammenhängen. Des Weiteren wird die Änderung dieser Flüsse bei Anwendung von Szenarien, welchen eine empfohlene Ernährung der Bevölkerung entsprechend den Richtlinien der DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) zugrunde liegt, dargestellt. Knapp 20 kg N/(E.a) und 3 kg P/(E.a) an Dünger und Futtermitteln müssen für die landwirtschaftliche Produktion nach Österreich importiert oder in Österreich durch Ammoniaksynthese synthetisiert werden. Bei einer Ernährungsumstellung hin zu einer empfohlenen Ernährung und Eigenversorgung der österreichischen Bevölkerung mit Nahrungsmitteln könnte der notwendige Ressourcenimport um 37 % für N und 20 % für P reduziert werden. Die Nährstoffemissionen in die Gewässer würden sich um 15 % für N und um 5 % für P verringern. Durch eine weitere Reduktion der NH_x Depositionen, begründet durch die Annahme einer Änderung der Ernährung und Produktion im benachbarten Ausland, verstärkt sich dieser Effekt. Hingegen führt die Nutzung von freierwerdender Fläche (Fläche, welche aufgrund einer Ernährungsumstellung

nicht für die Nahrungsmittelproduktion notwendig ist) für die Produktion nachwachsender Rohstoffe zu einem geringeren Rückgang an benötigten Ressourcen und Emissionen. Eine Ernährungsumstellung in Österreich würde zu einer deutlichen Steigerung der Ressourceneffizienz im Prozess Ernährung beitragen.

The influence of eating habits on the nutrient balance in Austria

Summary: The production of food needed for nutrition involves the use of resources. Nutrients are applied as fertilisers on agricultural land used for producing food and animal fodder. The products harvested from these areas, however, do not absorb all the fertiliser applied. A portion of these nutrients is washed into the streams and rivers, while another part finds its way into the atmosphere in the form of NH_x , NO_x , N_2O or N_2 . This article is intended to describe all relevant nitrogen (N) and phosphorus (P) flows involved in the production and consumption of foodstuffs. It also presents the changes that would be brought about in these flows by applying the scenarios presented in the guidelines issued by the Deutsche Gesellschaft für Ernährung - DGE (German nutrition society). Fertiliser and animal feed amounting to almost 20 kg of N and 3 kg of P per inhabitant and year must at present be either imported to Austria or manufactured using ammonia synthesis. Should the Austrian population change its diet in the direction of recommended eating habits and food self-sufficiency, the import requirements could be reduced by 37 % for N and 20 % for P. As a result, the nutrient emissions to the water bodies would drop by 15 % for N and 5 % for P. This effect would be further enhanced on the assumption of an additional reduction of NH_x deposition when neighbouring countries were also to change their eating and food production habits. If the areas that would no longer be needed for food production as a result of dietary changes were to be used for producing renewable raw materials, this would in turn reduce the decrease in resource requirements and

emissions. Dietary change in Austria would result in a clear increase of resource efficiency in the nutrition process.

1. Einleitung

Weltweit wurden im Jahr 2007 insgesamt 1.410 Millionen ha Ackerland und 3.380 Millionen ha Grünland bewirtschaftet (FAO 2010). Diese Flächenressource ist die Grundlage landwirtschaftlichen Wirtschaftens und somit Basis der Ernährung. Ursächlich mit landwirtschaftlichen Flächen verknüpft ist der Einsatz von Pflanzennährstoffen wie Stickstoff (N) und Phosphor (P). Erst die Erfindung des Haber-Bosch Verfahrens (technische Umwandlung von N_2 zu NH_3) ermöglichte einen großflächigen Einsatz von mineralischem N Dünger in der Landwirtschaft. Die Produktion von reaktivem N (Nr) stieg damit weltweit zwischen 1860 bis 1995 auf mehr als das 10-fache (Galloway et al. 2008). Infolge der gesteigerten Düngemengen in Kombination mit anderen pflanzenbaulichen Entwicklungen (z.B. Pflanzenschutz) stieg auch die weltweite Erntemenge auf das Doppelte an (D. Tilman 1999). Schätzungen weisen heute 30 % bis 50 % der weltweiten Ernte dem Einsatz von mineralischem Dünger zu (Stewart et al. 2005). Die Anreicherung von Nr und P in der Umwelt verursacht aber auch Probleme, wie z.B. Eutrophierung von Seen, Fließgewässern und Meeren, oder die Überschreitung von Grenzwerten in Trinkwasserressourcen (vg. Camargo & Alonso 2006; Smith et al. 1999; Rabalais 2002). Für Phosphor ist neben den Auswirkungen in den Gewässern zusätzlich die Ressourcenfrage von wesentlicher Bedeutung, da gut abbaubare Phosphorerze weltweit begrenzt vorkommen. Nach konservativen Schätzungen könnte Peak Phosphor bereits im Jahr 2033 erreicht sein (Cordell 2010). Ein sorgsamer Umgang mit dieser begrenzten Ressource ist somit wichtig und Thema zahlreicher Forschungsprojekte. Für Stickstoff ist speziell der hohe Energiebedarf bei der

¹ Institut für Wassergüte, Ressourcen und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien

² Österreichische Vereinigung für Agrar-, Lebens- und Umweltwissenschaftliche Forschung

³ Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Wien

⁴ Centre for Water Resource Systems (CWRS) at the Vienna University of Technology

Umwandlung von Luftstickstoff in Nr als ressourcenrelevant anzusehen.

Stickstoff und Phosphor spielen auch in Österreich für die Bewirtschaftung von 1,38 Millionen ha Ackerland und 1,78 Millionen ha Grünland eine wichtige Rolle. Das Ziel dieses Artikels ist die Darstellung aller relevanter N und P Flüsse im Zusammenhang mit der Produktion und dem Verzehr von Nahrungsmitteln sowie die Änderung dieser Flüsse bei Anwendung von Szenarien, welchen eine empfohlene Ernährung der Bevölkerung (DGE 2004) zugrunde liegt.

2. Material und Methodik

Mit der Betrachtung, Analyse und Darstellung der Nährstoffumsätze im Referenzzeitraum (Zeitspanne 2001 bis 2006) wird die Basis für die Berechnung von Szenarien gelegt, welche dann im Vergleich zum Referenzzeitraum dargestellt werden können. Zusammenhänge, deren Gültigkeit für den Referenzzeitraum ermittelt wurde, werden auf die Szenarien umgelegt. Hierzu werden Transferkoeffizienten berechnet und den passenden Bezugsgrößen gegenübergestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnung von Szenarien auf Grundlage der Quantifizierung des Referenzzeitraumes findet sich bei Zessner et al. (2011).

2.1. Stoffflussanalyse und Beschreibung der relevanten Prozesse

Ein adäquates Mittel für die Erfassung und Darstellung von Nährstoffströmen sind Nährstoffbilanzen. Die erste Stickstoffbilanz für ganz Österreich wurde von Dissemund et al. (1991) erstellt. Auf der Ebene von Einzugsgebieten wurden 1994 und 1995 Stickstoff- und Phosphorbilanzierungen an der Krems durchgeführt (Glenck et al. 1995; Kaas et al. 1994). Nährstoffbilanzen für ganz Österreich folgten von verschiedenen Autoren (Götz 1998; Kroiss et al. 1998; Obernosterer und Reiner 2003). Die Zielstellung der Nährstoffbilanzen war stets unterschiedlich. Im Rahmen der Berechnungen von Nährstoffbilanzen für die Weiterleitung an die OECD konzentriert sich die Bilanzierung von Götz (1998) auf einen N und P Flächensaldo, zur Verwendung als Umweltindikator. In Kroiss et al. (1998) liegt das Hauptaugenmerk auf den Auswirkungen auf Gewässern, während Obernosterer und Reiner (2003) eine abfallseitige Betrachtung einer N-Bilanz für Österreich erstellten. Das Hauptaugenmerk der Bilanzierung

innerhalb des vorliegenden Projektes liegt auf der lückenlosen Darstellung der Kette Produktion bis Verzehr von Lebensmitteln, der Verluste in die Umwelt sowie den Importen und Exporten von Nährstoffflüssen. Als Methode zur Erfassung und Darstellung von Stoffströmen wurde die Stoffflussanalyse nach Baccini und Brunner (1991) gewählt. Grundlage der Stoffflussanalyse ist das Gesetz der Erhaltung der Masse. Komplexe Zusammenhänge von Güter- und somit Stoffflüssen können mithilfe von klar definierten Prozessen und Systemgrenzen in ein einfaches System transformiert werden. Wichtig für diesen Schritt ist die sorgfältige Auswahl der wesentlichen Prozesse in Übereinstimmung mit der zugrundeliegenden Fragestellung. Nach der Definition von horizontalen und vertikalen Systemgrenzen sowie dem Betrachtungszeitraum können Input- und Outputflüsse sowie Flüsse zwischen den Prozessen ermittelt werden. Zweckmäßig ist es, zuerst Gütermengen zu erheben, um dann mit zugehörigen Konzentrationen Stoffmengen zu berechnen. Lager und Lageränderungen können für jeden Prozess ermittelt und dargestellt werden. Schwerpunkt der Stoffflussanalyse in diesem Beitrag ist die Darstellung von Stickstoff- und Phosphorflüssen in Österreich im Kausalzusammenhang der Ernährung. Zusätzlich soll eine Abschätzung der Bedeutsamkeit dieser Stoffflüsse für Gesamtösterreich möglich sein, was die Betrachtung außerhalb der Nahrungsmittelproduktion liegender Prozesse impliziert. Die vertikale Systemgrenze deckt sich mit der Staatsfläche Österreichs. Horizontal wird das System mit dem Grundwasser nach unten und der Troposphäre nach oben begrenzt. Um Schwankungen zwischen den Jahren auszugleichen, werden mehrere Jahre betrachtet. In Hinblick auf eine gute Datenverfügbarkeit wird die zeitliche Systemgrenze mit den Jahren 2001 bis 2006 festgelegt. Bei Auftreten von Datenlücken wird zwischen den Jahren interpoliert oder der benachbarte Jahreswert verwendet.

Generell sind drei übergeordnete Prozesse von wesentlicher Bedeutung für die gewählte Fragestellung. Dazu zählen der Verzehr, die zur Bereitstellung des Bedarfes erforderliche Produktion und die Umweltkompartimente. Die Zusammenhänge zwischen den Prozessen und die erforderliche Differenzierung verlangen aber eine detailliertere Betrachtung der Nährstoffflüsse in Österreich. Abbildung 2 zeigt das entwickelte System. Nachfolgend

werden alle Prozesse dargestellt und verwendete Datenquellen aufgeführt.

2.1.1. Prozess „Verzehr“

Ausgehend von den Betrachtungen in Zessner et al. (2011) werden die Verzehrmengen unterschiedlicher Produktgruppen und die jeweiligen Stickstoff und Phosphor Konzentrationen (verschiedene Autoren in Kroiss et al. 1998) ermittelt und daraus die entsprechenden Stoffflüsse als Input errechnet. Auf eine getrennte Darstellung von pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln wird Wert gelegt. Der Stofffluss „Abwasser“ als Output aus dem Prozess „Verzehr“ und Input in den Prozess „Abwasser und Abfallwirtschaft“ enthält sämtliche N u. P Flüsse, die verzehrt werden und über Ausscheidungen in das Abwasser gelangen. Lager und eine Lageränderung im Menschen werden nicht betrachtet. Übernachtungen von Touristen in Österreich werden den Auslandsübernachtungen der Österreicher gegenübergestellt (Statistik Austria 2009b; Statistik Austria 2010; Statistik Austria 2010) und gegebenenfalls berücksichtigt.

2.1.2. Prozess „Nahrungsbereitung im Haushalt“

Der Haushalt umfasst sämtliche Orte der Nahrungsmittelbereitung; eine Unterscheidung in private und öffentliche Haushalte wird nicht getroffen. Abfälle aus der Nahrungsbereitung sowie verdorbene Nahrungsmittel werden im Stofffluss „Abfall“ dem Prozess „Abwasser und Abfallwirtschaft“ zugeführt. Er errechnet sich als Differenz von Input von Nahrungsmitteln in den Prozess Haushalt minus dem Verzehr. Tierische und pflanzliche Nahrungsmitteln stammen mit Ausnahme von pflanzlichen Nahrungsmitteln aus Hausgärten per Definition vom Prozess „Industrie“. Nahrungsmittel von anderen Quellen (z.B.: Abhofverkauf oder Bauernmarkt) werden rechnerisch der Herkunft Industrie zugeordnet. Nahrungsmittel aus Hausgärten liefern nur einen kleinen Anteil zur Ernährung, werden aber vollständigshalber extra ausgewiesen (Statistik Austria 2007; Zessner et al. 2011). Lager und Lageränderung im Haushalt werden nicht betrachtet.

2.1.3. Prozess „Industrie“

Mit dem Nahrungsmittelverzehr im Zusammenhang stehen die Nahrungs-, Futtermittel- und Düngemittelindustrie. Andere Industrie- und Gewerbesparten werden

nicht betrachtet. Die Industrie nimmt in der Bilanz die Rolle als Versorger und Abnehmer der Landwirtschaft und als Versorger der Haushalte mit Nahrungsmitteln ein. Die Landwirtschaft liefert tierische Produkte (Schlachtvieh, Milch und Eier) und pflanzliche Produkte an die Industrie und erhält Futtermittel, Dünger und Saatgut. Rechnerisch erhält die Industrie N-Mineraldünger von der Troposphäre über die Ammoniaksynthese in der Höhe des landwirtschaftlichen Bedarfs. Ammoniaksynthese für den Export oder die Herstellung von anderen N-haltigen Produkten (z.B. Melaminharze) werden nicht berücksichtigt. Importe und Exporte in den Prozess Industrie werden für P-haltige Mineraldünger, Futtermittel und sonstige Biomasse angesetzt (Statistik Austria 2009b; Statistik Austria 2007). Unter sonstige Biomasse ist der Import von pflanzlichen Lebensmitteln enthalten. Holz wird jedoch nicht dem Prozess Industrie zugeordnet, sondern eigenständig behandelt, da es nicht im ursächlichen Zusammenhang mit der Ernährung steht (siehe unten). Abfälle aus der Nahrungsmittel- bzw. nachgelagerten Industrie werden analog dem Bundesabfallwirtschaftsplan angenommen (BMLFUW 2006). Daten zu den Konzentrationen werden aus Obernosterer & Reiner (2003) und Kroiss et al. (1998) entnommen. Abwasser aus der Lebensmittelindustrie wird anteilmäßig vom Gesamtindustriellen Abwasser abgeschätzt (Kroiss et al. 1998; Obernosterer und Reiner 2003). Zulauffrachten werden dem Gewässerschutzbericht (BMLFUW 2002a) und dem österreichischen Bericht zur kommunalen Abwassertrichtlinie der EU (BMLFUW 2008) entnommen. Der Anteil der industriellen Indirekteinleiter wird über durchschnittliche N und P-Gehalte im häuslichen Abwasser nach Zessner &

Lindtner (2005) abgeschätzt. Das Abwasser aus der Futter- und Düngemittelindustrie kann mangels Daten nicht gesondert ermittelt werden.

2.1.4. Prozesse „Tierhaltung“

Die Tierhaltung benötigt Futter und liefert tierische Produkte sowie Wirtschaftsdünger. Die tierischen Produkte setzen sich aus den zu schlachtenden Tieren sowie Milch und Eiern zusammen. Datengrundlage dafür sind die Versorgungsbilanzen der Statistik Austria (2007). Umrechnungen auf Lebendgewicht wird mittels durchschnittlicher Lebend- und Schlachtgewichte durchgeführt (Statistik Austria 2007). Verfütterte Milch wird, da sie den Prozess Tierhaltung nicht verlässt, nicht der tierischen Produktion zugerechnet. Der Fluss Feldfutter und Grünland aus dem Prozess Pflanzenbau und landwirtschaftlicher Boden bezeichnet den Anteil des Futters, welcher vom Grünland und Feldfutterbau dem Prozess Tierhaltung zugeführt wird (BMLFUW 2002 bis 2007). Marktfähige Futtermittel werden im Fluss Futtermittel zusammengefasst. Zum einen fallen hier Futtermittel aus dem Ackerbau, zum anderen Futtermittel aus Nebenerzeugnissen der Industrie (Müllerei, Brauerei, Brennerei, Stärke- und Zuckerherstellung sowie Ölherstellung) an. Von großer Bedeutung sind auch Importe von Eiweißfuttermitteln (Sojaextraktionschrot). Datengrundlage der Futtermittelmengen ist eine Futtermittelbilanz der Statistik Austria (2009a). Grundlage der Wirtschaftsdüngerberechnung sind die Tierzahlen in den Grünen Berichten (2002 bis 2007). Bruttoausscheidungen werden mit Werten aus dem Austria's Informative Inventory Report (IIR) (UBA 2008) berechnet, welche sich mit den Werten aus den

Richtlinien der Sachgerechten Düngung des Fachbeirats für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (2006) decken. Basierend auf den Tierhaltungssystemen in Österreich (Amon et al. 2007) werden Stall-, Lager- und Wirtschaftsdüngermanagementverluste berechnet und vom Bruttoanfall abgezogen. Emissionen in die Luft (NH_3 , N_2O) werden auf Grundlage der Methode des IPCC (Houghton et al. 1997) und EMEP/CORINAIR (Penman et al. 2000) mit Faktoren aus UBA (2009) berechnet.

2.1.5. Prozess „Pflanzenbau und landwirtschaftlicher Boden“

Die Mengen des Güterflusses „pflanzliche Produkte“ werden anhand der Versorgungsbilanzen in (Statistik Austria 2007) ermittelt. In Kombination mit Nährstoffgehalten aus der Literatur (LFL 2008; Kroiss et al. 1998) werden Stoffflüsse errechnet. Der Einsatz an Mineraldünger stammt aus den Grünen Berichten (BMLFUW 2002 bis 2007), die Saatgutmengen aus den Versorgungsbilanzen (Statistik Austria 2007). Für den auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebrachten Kompost bedarf es einer Umrechnung der Kompostausgangsmaterialien (BMLFUW 2001; 2006) in Kompost. biogene Abfälle, Markt- und Küchenabfälle, Kantine- und Garten-, Parkabfälle, Straßenbegleitgrün und Friedhofsabfälle werden in Österreich kompostiert. Zusätzlich kommt es auch zur Eigenkompostierung in Hausgärten, welche jedoch im Prozess Pflanzenbau und landwirtschaftlicher Boden keine Rolle spielen. Bei der Kompostierung von organischem Material fällt neben dem Zielprodukt Kompost auch Wasser und CO_2 an. Der Massenverlust wird mit einem Transferkoeffizienten in der Höhe von 65% berücksichtigt (BMLFUW 2006). Laut Spaun (1994) (zitiert in Fehring et al. (1997)) verbleiben bei der Kompostierung 99% des Stickstoffs der Ausgangsmaterialien im Kompost. Anhand von Transferkoeffizienten, Nährstoffgehalten (Obernosterer und Reiner 2003; Kroiss et al. 1998) und Transferkoeffizient des Stickstoffgehalts werden die Nährstofffrachten berechnet. Daten des in der Landwirtschaft ausgebrachten Komposts konnten nicht erhoben werden. Deshalb wurde analog zu Obernosterer & Reiner (2003) angenommen, dass 50% des Komposts in Österreich auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wird. Die Menge an auf landwirtschaftliche Flächen aufgebrauchten Klärschlämmen wurde dem Gewäs-

TABELLE 1
Beschreibung der Unsicherheitslevels mit Beispielen

Level	Unsicherheitsfaktoren	Datenquellen	Beispiele
0	interval */1	Generelle Daten (Literatur)	Molekulargewichte, z.B. N_2O , P_2O_5
1	interval */1.1	Offizielle Statistiken auf nationaler od. regionaler Ebene	Mineraldüngereinsatz in Österreich, Erntemengen für Österreich
2	interval */1.33	Nationale und regionale Daten ; allgemeine Daten; Expertenschätzung; modellierte Daten	Erntemengen in den Teileinzugsgebieten
3	interval */2	Modellierte Daten, eigene Annahmen	NO_x -Emissionen des landwirtschaftlichen Bodens
4	interval */4		

serschutzbericht (BMLFUW 2002a), Bundesabfallwirtschaftsplan (BMLFUW 2001; BMLFUW 2006) und dem Bericht zur Kommunalen Abwasserrichtlinie (BMLFUW 2008) entnommen. Für Fäkalschlamm gibt es keine Angaben zur Verwertung. Kroiss et al. (1998) gehen von einer 10 bis 40 %igen Verwertung des Fäkalschlammes in der Landwirtschaft aus. Für die in diesem Artikel beschriebene Bilanz wurde von einer mittleren 25 % igen Verwertung in der Landwirtschaft ausgegangen. Eintragsmengen von Stickstoffverbindungen über die Luft als nasse und trockene Deposition auf landwirtschaftlichen Boden stammen aus dem EMEP Programm (Benedictow et al. 2009). Es erfolgt eine Verschneidung mit dem österreichischen Staatsgebiet. Für Phosphordepotion wird ein flächenbezogener Eintrag aus der Literatur verwendet (Bohner et al. 2007; Kroiss et al. 1998). Werden von der Landwirtschaft Leguminosen angebaut, so gehen diese eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien ein. Diese symbiotische Stickstofffixierung von Kulturpflanzen wurde mit ertragsbezogenen Fixierungsraten (LFL 2008) und den österreichischen Durchschnittserträgen (BMLFUW 2002 bis 2007) berechnet. Asymbiotische Stickstofffixierung durch freilebende Organismen werden für alle landwirtschaftlichen Flächen mit Werten aus Götz & Zethner (1996) abgeschätzt. NH_3 , NO_x und N_2O Verluste, verursacht durch die Ausbringung von Wirtschaftsdünger, Mineraldünger, Klärschlamm und Kompost, werden analog zu den Emissionen aus Wirtschaftsdüngeranfall auf Basis der IPCC und CORINAIR/EMEP berechnet. Auf gleicher Grundlage werden auch Emissionen aufgrund von Deposition, Stickstofffixierung und Ernterückständen berechnet. Denitrifikation im Boden wird auf Grundlage des berechneten Überschusses auf der Fläche und des Denitrifikationsansatzes von Behrendt (1999) ermittelt. Das Lager im Boden für N und P wird mit durchschnittlichen Werten pro ha aus Kroiss et al. (1998) abgeschätzt. Für N wird keine Lageränderung im Boden angenommen. Für P ergibt sich eine Lageränderung aus der Bilanzierung. Diese Lageränderung entspricht der P Anreicherung oder auch Abreicherung von landwirtschaftlichen Böden.

Die Berechnung des Mineraldüngereinsatzes in den Szenarien leitet sich aus den Daten und dem Einsatz von Düngemitteln des Referenzzeitraumes ab. Grundlage der Berechnung ist eine auf Österreich übertragene Methode von Bach

und Frede (2005). Durch Umstellen der nachfolgend genannten Formel kann mit Daten des Vergleichszustandes der „Faktor Wirksamkeit“ errechnet werden. Eine Berechnung des Mineraldüngereinsatzes in den Szenarien erfolgt dann durch Einsetzen in die Formel.

$$\begin{aligned} & \text{Mineraldünger} = \text{Nährstoffentzug} \\ & * \text{Koeffizient erhöhter Bedarf} - \\ & \text{Wirtschaftsdünger} * \text{Faktor Wirksamkeit} - \\ & \text{sonstiger organischer Dünger} - \\ & \text{N Fixierung} \end{aligned}$$

Dabei gilt:

- Nährstoffentzug: sämtlicher Nährstoffentzug ab Feld
- Koeffizient erhöhter Bedarf: errechnet sich aus Düngeempfehlungen dividiert durch den Ernteentzug; wurde analog zu Bach und Frede (2005) mit 1,2 ermittelt
- Wirtschaftsdünger: Wirtschaftsdünger minus Stall-, Lager- u. Managementverlusten
- Faktor Wirksamkeit: die von den Landwirten für den Wirtschaftsdünger ange-setzte Wirksamkeit
- sonstiger organischer Dünger: Kompost und Klärschlämme, welche auf landwirtschaftlichen Boden aufgebracht werden, bereits mit Faktoren aus Galler (2009) auf den düngewirksamen Anteil umgerechnet
- N Fixierung: Stickstofffixierung durch Leguminosen

2.1.6. Prozess „Abwasser und Abfallwirtschaft“

Neben den bereits erwähnten Input-Flüssen über Abwasser und Abfall aus dem Verzehr, der Nahrungsmittelbereitung im Haushalt und der Industrie gibt es den Input-Fluss „Sonstiges“. In diesem Fluss ist der Input von Schlämmen und Abwasser von anderen Industriezweigen (keine Lebensmittel-, Futter- od. Düngemittelindustrie) und Abwasser aus Haushalten, verursacht durch Verwendung von Reinigungsmitteln (besonders P in Geschirrspülmitteln ist hier zu nennen), enthalten. Die Denitrifikation wird als Differenz zwischen N-Frachten im Zulauf (aufgrund Verzehr u. Lebensmittelindustrie) und N-Frachten im Ablauf (Verzehr u. Lebensmittelindustrie) und Klärschlamm ermittelt. Die Ablaufmengen werden analog (gleiche Datengrundlage und Vorgangsweise) zur Ermittlung der Zulaufmengen erhoben. N_2O Emissionen in die Luft wur-

den nach Orthofer et al. (1995) in UBA (2009) abgeschätzt. Für den Phosphor müssen sich die Inputfrachten über den Zulauf zur Gänze im Ablauf und Klärschlamm wiederfinden. Lageränderungen in dem Prozess ergeben sich durch Deposition von Klärschlamm und sonstigem Abfall sowie Aschen aus der Abfall- und Klärschlammverbrennung. In den Szenarienberechnungen wird keine Änderung der Frachten im Zulauf von Kläranlagen aus der Lebensmittelindustrie angenommen; die Frachten im Zulauf aufgrund von Verzehr ändern sich jedoch infolge einer geänderten Ernährung. Für den Stickstoff bedeutet das eine verringerte Fracht im Abwasser. Unter der Annahme einer absolut gesehen gleichbleibenden N Entfernung auf den Kläranlagen entsprechend dem Referenzzeitraum verringern sich auch die N-Ablaufmengen. Für P sind auch in den Szenarien die gesetzlich festgelegten Grenzwerte ausschlaggebend. Ändern sich die P-Frachten im Zulauf, so ändert sich die P-Fracht im Klärschlamm (Entfernung von P aus dem Abwasser), nicht jedoch im Ablauf der Kläranlagen.

2.1.7. Prozess „Forstwirtschaftlicher und sonstiger Boden“

Als Input in diesem Prozess werden Deposition, Kompost u. Schlämme betrachtet. Kompost und Schlämme werden dabei nicht in der Forstwirtschaft aber verstärkt auf sonstigen Boden im Zuge des Landschaftsbaues eingesetzt. Emissionen in die Luft und in Gewässer und Biomasse verlassen diesen Prozess. Die Deposition, die Kompost- und Schlammaufbringung und Denitrifikation werden analog der Berechnung im Prozess Pflanzenbau und landwirtschaftlicher Boden ermittelt. Für die Stickstofffixierung auf forstwirtschaftlichen Flächen durch freilebende Organismen werden Werte von Son (2001) verwendet. Die Stickstofffixierung der sonstigen Flächen konnte nicht abgeschätzt werden. Die Nutzung der österreichischen Wälder wird aus den Veröffentlichungen der österreichischen Waldinventur entnommen (Schadauer et al. 2004). Entsprechend der Anteile der Vor- und Hauptnutzung und der durchschnittlichen Verluste für Werbung und Bringung wird von Vorratsfestmeter (Vfm) auf Erntefestmeter (Efm) umgerechnet (BMLFUW 2008). Für Nadelholz wurde mit den Werten für Fichte, für Laubholz mit dem von Rotbuche gerechnet. Eine Umrechnung von Efm in Gewicht ohne Rinde (atro - absolut trocken) erfolgte

nach den Österreichischen Holzhandelsunionen 1973 (Wiener Börse AG 2001), die Umrechnung in N und P Frachten mit den Konzentrationen aus Kaas et al. (1994) und Glenck et al. (1995). Grünabfälle von sonstigen Böden (z.B. Straßenbegleitgrün) werden im Stofffluss organisches Material zusammengefasst und dem Prozess Abwasser und Abfallwirtschaft zugeführt. Als Lager werden der Baumbestand des Waldes und im Boden gespeicherte Nährstoffe berücksichtigt (Schadauer et al. 2004; Kroiss et al. 1998). Die Umrechnung von Vfm in Masse erfolgt analog zur Holznutzung, jedoch werden sämtliche Baumbestandteile dem Lager zugeordnet (Wurzeln, Äste, Rinde, Blätter/Nadeln und Stamm). Analog zu Kroiss et al. (1998) wird für die Abschätzung des Nährstofflagers im Boden davon ausgegangen, dass 10% bis 30% der sonstigen Flächen mit Boden bedeckt sind.

2.1.8. Prozess „Grundwasser und Oberflächengewässer“

Einträge in Gewässer werden mit dem Modell MONERIS (Modeling Nutrient Emissions in River Systems, Behrendt et al. 1999) berechnet. Das Modell MONERIS ist ein empirisches konzeptionelles Modell, welches verschiedene Eintragspfade in Gewässer behandelt. Neben den Punktquellen (Abwasserreinigungsanlagen) werden diffuse Einträge modelliert. Ausgehend von einem Stickstoff- und Phosphorüberschuss auf der Fläche und den Einträgen durch Deposition werden die Eintragspfade Erosion, Oberflächenabfluss, Grundwasser, Drainagen, atmosphärische Deposition und urbane Flächen betrachtet. Als Output erhält man die Emissionen der Nährstoffe in die Gewässer aufgeteilt auf die unterschiedlichen Eintragspfade, über Fließgewässer importierte Nährstofffrachten und Retention von Nährstoffen in den Fließgewässern und damit als Endprodukt die in den Gewässern transportierte Nährstofffracht (Behrendt et al. 1999). Die Denitrifikation im Grundwasser ergibt sich als Bilanzgröße zwischen den Emissionen aus der Wurzelzone in das Grundwasser als Input und der Nettoexfiltration vom Grundwasser in die Fließgewässer als Output (Emission über den Grundwasserpfad). Eine MONERIS Österreich Version mit einer Unterteilung des Österreichischen Staatsgebietes in 367 Teileinzugsgebiete ist die Grundlage für die Berechnung des Referenzzustandes und die Basis für die Berechnung von Szenarien (Schilling et al. 2011).

TABELLE 2

Unsicherheitsabschätzung der Eingangsdaten bei fehlenden Schwankungsbreiten

Level 1	Level 2	Level 3
Futtermittelbilanz - nicht marktfähig	Futtermittelbilanz - marktfähig	NH _x Emissionen von Wirtschaftsdünger
Tierzahlen	Bruttoausscheidungen Wirtschaftsdünger	Fäkalschlämme
Verteilung der Tierhaltungssysteme	Industrieschlamm in t TS	NO _x Emissionen von landwirtschaftlichen Boden
Klärschlammanfall	Konzentrationen	Deponiesickerwasser
N Verluste in der Kompostierung	Landwirtschaftliche Verwertung von Kompost	
Kompostanfall je Kompost Ausgangsmaterial	Eigenkompostierung in Hausgärten	
Erntemengen für Österreich	Saatgutflächen	
Landwirtschaftliche Flächenbewirtschaftung	Asymbiotische Stickstoffbindung	
Ernteerträge/ha	Zulauf- und Abauffrachten industrielle Direkteinleiter	
Zulauf- und Abauffrachten kommunaler ARA's	N ₂ O Emissionen von Abwasserreinigungsanlagen	
Erzeugung und Verfütterung von Milch und Erzeugung von Eier	Anteil der Lebensmittelindustrie am Gesamtanfall Klärschlamm und Abwasser	
Verlust an Lebensmitteln in Haushalten	NO _x , NH ₃ Import Export (EMEP Daten)	
Verarbeitungsverluste in Industrie und Handel von Lebensmitteln	Einträge ins Grundwasser	
Daten der Waldinventur	Einträge in Oberflächengewässer	
	Denitrifikation im Boden	
	Denitrifikation im Grundwasser	
	Nährstoffgehalte in Böden	
	Lagerbildung	
	Import u. Export von Nährstoffen in Oberflächengewässer	

2.1.9. Prozess „Troposphäre“

Nicht betrachtet wird N₂ in der Verbrennungs- u. Atemluft. Import und Export von reaktivem Stickstoff wurde aus den Daten und Betrachtungen von grenzüberschreitender Luftverschmutzung in Europa unter dem Programm Convention on Long-range Transboundary Air Pollution ermittelt (EMEP 2009). Zusätzlich werden dem Input in den Prozess „Troposphäre“ Emissionen aus dem Sektor Energie und Industrie zugerechnet. Die Werte werden dem National Inventory Report (UBA 2008) entnommen. Alle anderen Flüsse finden sich bei der Beschreibung des jeweiligen Quellprozesses. Bei Szenarienberechnungen, in denen Änderungen auch im Ausland

angenommen werden, reduziert sich der Import von NH_x. Analog zu der Reduktion von NH_x in Österreich werden auch die Importe reduziert.

2.2. Fehlerberechnungen zur Nährstoffbilanzierung

Für eine vollständige Stoffflussanalyse sind vielfältige Daten aus verschiedensten Datenquellen mit unterschiedlichster Qualität erforderlich. Für eine Unsicherheitsberechnung mittels Fehlerfortpflanzung fehlen meist die Fehler und statistischen Verteilungen der einzelnen Inputdaten. Für diese Bilanz wird deshalb eine Kombination von manueller Unsicherheitseinschätzung durch Zuweisung unterschiedlicher Unsicherheits-

level und eine darauf aufbauende Fehlerberechnung angewendet (Hedbrant J & Sorme L 2001). In einem ersten Schritt werden den Ausgangsdaten Unsicherheitsintervalle zugeordnet. Eine Zuordnung zu Unsicherheitsintervallen wird dann vorgenommen, wenn die Schwankungsbreite der Daten unbekannt ist. Die Schreibweise $*/Y$ bedeutet, dass bei $Y = 2$ die Unsicherheit der Daten X mit einem Unsicherheitsintervall von $*/2$ von $X/2$ bis $X*2$ anzunehmen ist. Im zweiten Schritt wird die resultierende Unsicherheit mit entsprechenden Formeln für Addition und Multiplikation berechnet.

Die entsprechenden für diese Stoffflussanalyse verwendeten Levels, Unsicherheitsfaktoren, Datenquellen und Beispiele finden sich in *Tabelle 1*. Dem Level 4 mit einer ungefähren Unsicherheit ausgedrückt in Prozent von $\pm 300\%$ wurden keine Daten zugeordnet. Ziel der Unsicherheitsbetrachtung ist eine Abschätzung über die mögliche Schwankungsbreite der Stoffflüsse. In der *Tabelle 2* erfolgt eine Zuordnung der Eingangsdaten zu den Levels 0 bis 3, falls keine Schwankungsbreiten bzw. Unsicherheiten der Daten bekannt sind. Sind Schwankungsbreiten der Ausgangsdaten genannt, wurde mit diesen und nicht mit einer Klassifizierung der Unsicherheit gearbeitet.

Sind die Unsicherheiten der Ausgangsdaten festgelegt bzw. bekannt, wird die resultierende Unsicherheit jedes Stoffflusses ermittelt. Hierzu wird auf die Berechnungsmethode nach Hedbrant & Sörme (2001) zurückgegriffen (Daniuš 2002). Grundannahme dieser Methode ist die Festlegung, dass das Unsicherheitsintervall zu 95% den wirklichen Wert enthält. Infolge dessen kann mit statistischer Fehlerrechnung die resultierende Unsicherheit des jeweiligen Stoff-

flusses ermittelt werden. Ein weiteres Maß für die Qualität der Bilanzen ist der Bilanzfehler für jeden Prozess.

2.3. Berechnung von Szenarien

Die Postulierung einer gesunden ausgewogenen Ernährung für die Bevölkerung Österreichs ist die Grundlage für die Szenarienberechnung. Aus dem einer ausgewogenen Ernährung entsprechenden Verzehr werden in den Szenarien die benötigten Produktionsmengen und in weiterer Folge die für die Produktion benötigten Flächen ermittelt. Unter Berücksichtigung der pflanzenbaulichen Produktionsbedingungen, etwaiger Importe und Exporte können die Betriebsmitteleinsätze auf Grundlage der Daten und Auswertungen des Referenzzustandes berechnet werden. Die dahinter liegende Annahme ist, dass sich die landwirtschaftliche Produktionsintensität und Effizienz in den Szenarien nicht ändern. In diesem Beitrag wird ein Szenario behandelt, bei welchem unter Annahme einer theoretischen Selbstversorgung der österreichischen Bevölkerung und konventioneller Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen der Ressourceneinsatz und die Umweltauswirkungen in Österreich abgeschätzt werden (Szenario 1, siehe Zessner et al., 2011b). Bisherige Importe werden, sofern weiterhin notwendig, durch inländische Produkte ersetzt. Insbesondere Sojaschrot, eingesetzt als Eiweißfuttermittel in der Tierhaltung, spielt eine wichtige Rolle.

Die Nutzung von Flächen, welche aufgrund der geänderten Ernährungsgewohnheiten nicht mehr für eine Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, wird in Unterszenarien behandelt. In Unterszenario 1A werden freie Flächen nicht genutzt, wobei für diese Flächen keine produktive Nutzung (z.B. Sukzession oder Pflege) angenommen wird. Übergangszu-

stände, welche z.B. zu erhöhtem Austrag von Nährstoffen ins Grundwasser führen können, werden nicht berücksichtigt. Unterszenario 1B deckt mit den freien Flächen den landwirtschaftlichen Bedarf an Biodiesel, Strom und Wärme sowie die gesetzlich vorgeschriebene Beimischung von Biotreibstoffen zu Benzin und Diesel in der Höhe von 5,75% ab, soweit diese aufgrund einer Limitierung durch pflanzenbauliche Randbedingungen möglich ist. Unterszenario 1C geht von einer maximierten Energieproduktion auf den freien Flächen aus. Eine genaue Definition und Ausformulierung dieser Szenarios findet man in Zessner et al. (2011b).

Relevant für Stickstoffdeposition und damit die Einträge in Gewässer in Österreich sind auch Luftemissionen von Stickstoffverbindungen (z.B. NH_3) im benachbarten Ausland, welche auf dem Luftweg nach Österreich transportiert werden. Aus diesem Grund wurden bei der Behandlung der Stickstoffbilanzen zusätzliche Unterszenarien betrachtet. Unterszenarien, in denen nur geänderte Bedingungen innerhalb Österreichs betrachtet werden, haben im Folgenden den Bezeichnungszusatz „in“. Unterszenarien, bei welchen eine Ernährungsumstellung im benachbarten Ausland und damit reduzierte NH_3 Emissionen aus ausländischer Tierhaltung und reduzierte NH_3 Importe über die Luft nach Österreich angenommen wurden, haben den Zusatz „aus“.

3. Ergebnisse

Die mengenmäßige Darstellung der Ergebnisse wird nachfolgend immer auf einen Einwohner (E) bezogen. Die gesamte Bevölkerung Österreichs wird als Mittelwert der Jahre 2001 bis 2006 mit 8.130.515 Menschen (Statistik Austria 2009a) angenommen.

TABELLE 3
Übersicht über die Szenarienbezeichnung

Szenarien-Kurzbezeichnung	Eigenversorgung mit landwirtschaftlichen Produkten	Konventionelle Bewirtschaftung	Nutzung freierwerdender Fläche		Änderungen (NH_3 -Emissionen) auch im Ausland angenommen
			Energie für Landwirtschaft u. gesetzl. Vorgaben	Maximale Energieproduktion	
1Ain	ja	ja	nein	nein	nein
1Aaus	ja	ja	nein	nein	ja
1Bin	ja	ja	ja	nein	nein
1Baus	ja	ja	ja	nein	ja
1Cin	ja	ja	ja	ja	nein
1Caus	ja	ja	ja	ja	ja

3.1. Betrachtung der Unsicherheiten

41 % der Bilanzierungsgrößen der Stickstoffbilanz haben eine Unsicherheit kleiner als $\pm 25\%$, mehr als 80 % weisen eine Unsicherheit kleiner als $\pm 40\%$ auf. Für Phosphor sind die Unsicherheiten etwas geringer; 53 % fallen in eine Kategorie kleiner als $\pm 25\%$ und 87 % kleiner als $\pm 40\%$. Grund für diesen Unterschied sind die nur ungenau bestimmbar Emissionen von N_2O , NH_3 und NO_x der Stickstoffbilanz, welche die höhere Mobilität von Stickstoff in Verhältnis zu Phosphor ausdrücken. Neben den hohen Unsicherheiten für die N_2O Emissionen (im Bereich von $\pm 90\%$)

wurde auch für die Einträge von Kompost und Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Flächen hohe Unsicherheiten ($\pm 61\%$ und $\pm 117\%$) ermittelt. Dieser Fluss macht für landwirtschaftlichen Boden mit 1,8% am gesamten Stickstoffeintrag aber einen relativ kleinen Teil des Gesamtinputs aus. Der N-Stofffluss mit der höchsten Unsicherheit ist der Eintrag von organischer Substanz in Form von Gartenabfällen, Grünschnitt und etc. in die Abfallwirtschaft mit einer geschätzten Unsicherheit von $\pm 233\%$. Für die Gesamtbilanz spielt dieser Fluss jedoch ebenfalls eine untergeordnete Rolle. Alle für die Fragestellung relevanten

Flüsse in den Prozessen Pflanzenbau und landwirtschaftlicher Boden, Tierhaltung, Nahrungsbereitung im Haushalt und Verzehr liegen mit den Unsicherheiten im niedrigen bis mittleren Bereich. Für auf den Vergleichszeitraum der Jahre 2001-2006 aufbauende Szenarienberechnungen werden die Unsicherheiten aufgrund Verwendung derselben Datengrundlagen analog angenommen. Bei der Bilanzierung der einzelnen Prozesse kommt es zu geringen Abweichungen der Input- und Outputflüsse. In *Abbildung 1* ist die Verteilung der Unsicherheit der N und P Flüsse dargestellt.

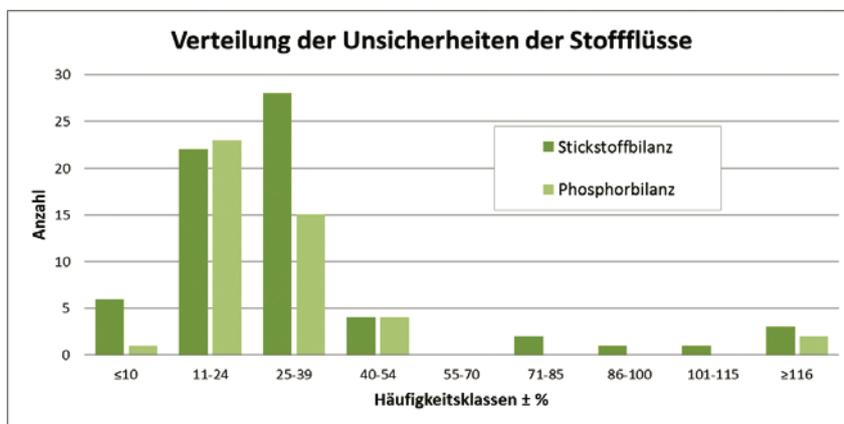


Abb. 1: Unsicherheitsverteilungen der Stoffflüsse

3.2. Darstellung der Stickstoff und Phosphorbilanz Österreichs im Referenzzustand

Abbildung 2 zeigt die Stickstoffbilanzierung, *Abbildung 3* eine Darstellung der Phosphorbilanzierung für das definierte System. Wesentliche Aspekte der Bilanzen werden anhand von Detailauswertungen näher erläutert.

3.3. Änderungen von Stoffflüssen in den Szenarien

Allen Szenarien gemeinsam ist die Annahme einer ausgewogenen Ernährung nach den Richtlinien der DGE. Die Änderungen zum Referenzzeitraum, die sich durch diese Annahme für die Bilanz der Nahrungsbereitung im Haushalt und des Verzehrs ergibt, können für Stickstoff in *Abbildung 4*, für Phosphor in *Abbildung 5* abgelesen werden. Der um 7 % niedrigere Stickstoff- und 5 % höhere Phosphorinput in den Haushalt erklärt sich durch die geänderte Nahrungsmittelzusammensetzung. So werden stickstoffreiche tierische Lebensmittel reduziert und pflanzliche Nahrungsmittel mit einem in Relation zu tierischen Nahrungsmitteln niedrigeren Stickstoffgehalt erhöht.

Ändert sich der Verzehr, so ändert sich laut Definition der Szenarienberechnung auch die Produktion der Lebensmittel. Daraus resultierende Änderungen der Stickstoff- und Phosphorflüsse im landwirtschaftlichen Bereich sind für das Szenario 1A in *Abbildung 6* und *Abbildung 7* abgebildet. Bei Anwendung einer theoretischen Selbstversorgung und ausgewogenen Ernährung (reduzierter Fleischverzehr) geht der Tierbestand zurück. Infolge dessen sinken die Menge an benötigtem Futter, die tierischen Produkte und die Emission von NH_3 . Dem Prozess Pflanzenbau steht weniger Wirtschaftsdünger zur

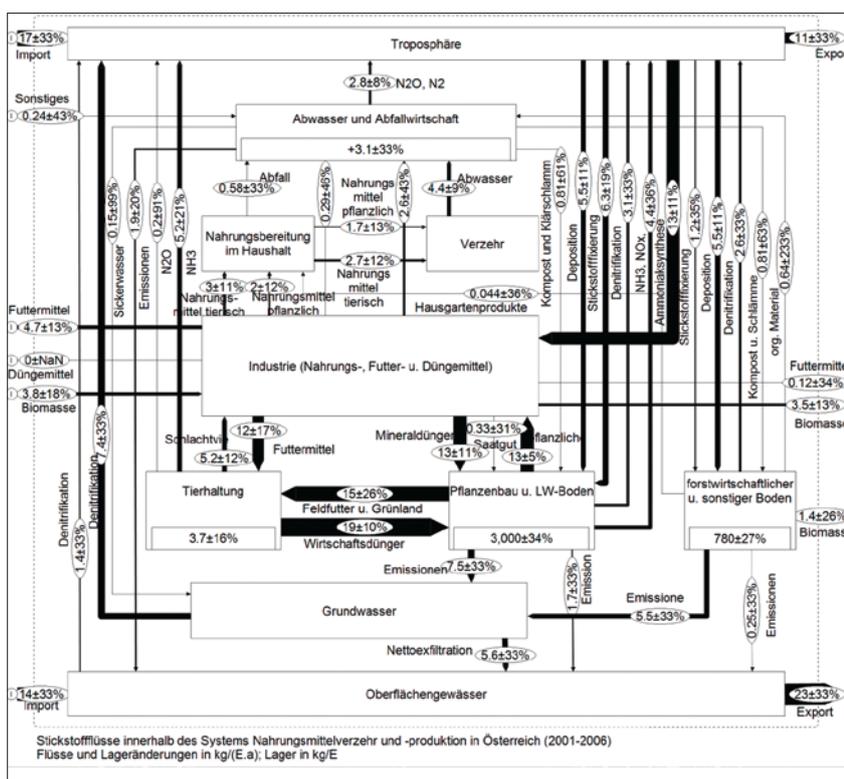


Abb. 2: Stickstoffbilanz im Referenzzeitraum (2001 – 2006)

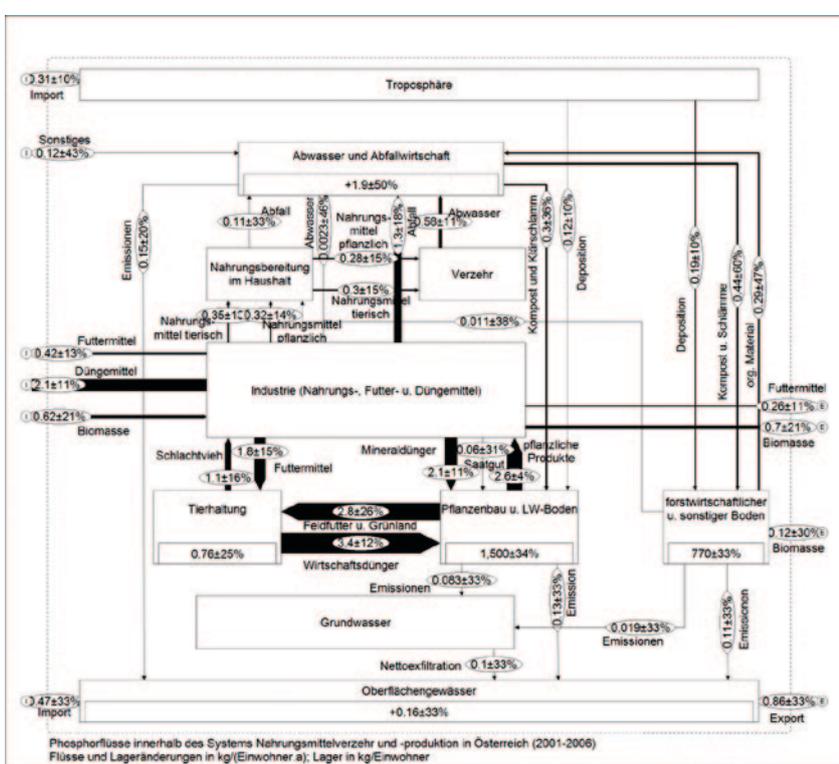


Abb. 3: Phosphorbilanz für den Referenzzeitraum (2001-2006)

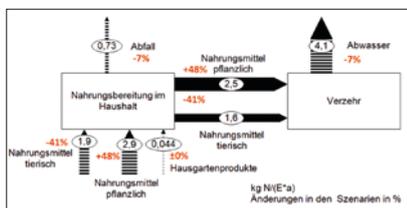


Abb. 4: N-Detailbilanz Prozess „Verzehr“ und „Nahrungsbereitung im Haushalt“ des Referenzzustandes mit Änderungen in % des Szenarios 1Ain relativ zum Referenzzustand

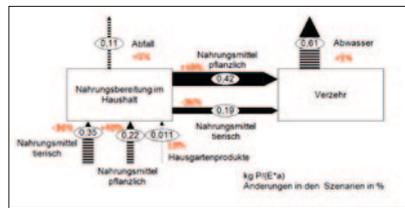


Abb. 5: P-Detailbilanz Prozess „Verzehr“ und „Nahrungsbereitung im Haushalt“ des Referenzzustandes mit Änderungen in % des Szenarios 1Ain relativ zum Referenzzustand

Verfügung. Für das Unterszenario 1Ain sinkt die Menge des benötigten Mineraldüngers trotzdem, da weniger Futter produziert werden muss und freierwerdende Flächen nicht bewirtschaftet werden. Einträge aus der Fläche ins Grundwasser gehen annähernd analog der Reduktion der landwirtschaftlichen Fläche zurück. Direkte Einträge aus den Böden in Oberflächengewässer gehen nur um ca. 9% zurück, da Ackerflächen, auf welchen Erosion und Oberflächenabswemmung zum größten Teil stattfindet, kaum aus der Produktion genommen (Zessner et al. 2011), sondern nur mit geringeren Verlusten bewirtschaftet werden können. Ein wichtiger Indikator der Landbewirtschaftung ist der Nährstoffüberschuss auf der Fläche (kg Nährstoff/ha). Er ist ein Maß für die Versorgung von landwirtschaftlichem Boden mit Nährstoffen und beeinflusst die

Nährstoffeinträge in Gewässer wesentlich. Ist er negativ, so wird das Nährstofflager im Boden vermindert, und zumindest langfristig kommt es zu Mangelerscheinungen. Ist er positiv, so steigt die Gefahr eines Austrags von Nährstoffen in Gewässer und Troposphäre (OECD 2008).

Die Veränderung des Input über verschiedene Güterflüsse auf landwirtschaftliche Böden, der Gesamtinput sowie der entstehende Überschuss im Boden (Input minus Ernteentzug) ist für N und P und die verschiedenen Szenarien in Relation zum Referenzzustand in *Abbildung 8* und *Abbildung 9* dargestellt. Von den sieben Achsen in den Diagrammen entspricht jeweils eine dem Referenzzustand und die anderen sechs den betrachteten Szenarien. Auf den Achsen ist die relative Abweichung des jeweiligen Güterflusses zum Referenzzustand in Prozent dargestellt.

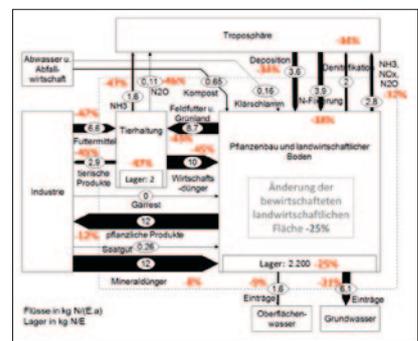


Abb. 6: N-Bilanz der Landwirtschaft in Szenario 1Ain mit Änderungen in % relativ zum Referenzzustand

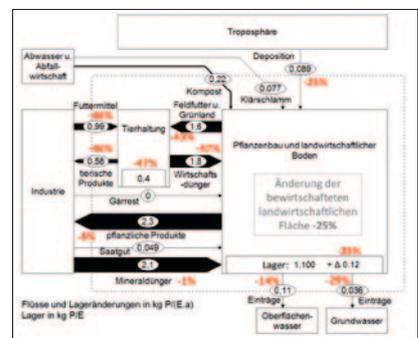


Abb. 7: P-Bilanz der Landwirtschaft in Szenario 1Ain mit Änderungen in % relativ zum Referenzzustand

Zum Zweck der Übersichtlichkeit werden Reduktionen der Stoffflüsse von der Nulllinie aus nach außen dargestellt.

Der Überschuss in jedem Szenario wurde auf die düngewürdige landwirtschaftliche Fläche (Acker- und Grünlandfläche Österreichs minus Almen, Bergmähdern, Hutweiden und Streuwiesen) des Referenzzustandes bezogen. Diese Fläche umfasst 2,287 Millionen ha. Wird auch im Ausland eine Änderung der Produktion und Ernährung analog zum jeweiligen österreichischen Szenario angenommen, verringert sich die nach Österreich über die Troposphäre importierte Menge an NH_3 , somit auch die Höhe der Deposition in Österreich und infolgedessen auch die Höhe des N-Überschusses auf der Fläche. In Szenarien, bei denen Änderungen im Ausland angenommen wurden, verringern sich die Emissionen in die Gewässer im Vergleich zum jeweiligen Szenario ohne Änderungen im Ausland. Wirtschaftsdünger und Gärrest (Biogasgülle) reduzieren sich aufgrund verringerter Tierhaltung um 45% im Szenario 1A. Mit zunehmender Erzeugung von Bioenergie fällt mehr Gärrest aus der Biogaserzeugung an und der Input an Wirtschaftsdünger und Gärrest liegt im Szenario 1C nur noch 20% unter dem Referenzzustand.

3.4. Ressourcenseitige Betrachtung der Stickstoff und Phosphorflüsse

Stickstoff ist grundsätzlich keine begrenzte Ressource. Die Umwandlung des Luftstickstoffs in pflanzenverfügbaren Stickstoff ist hauptsächlich eine Frage des Energieeinsatzes. Der Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldünger in der Landwirtschaft impliziert somit den Verbrauch von meist fossilen Brennstoffen. Den Energieverbrauch der Landwirtschaft unter Berücksichtigung der Vorketten für den Referenzzustand findet man in Steinmüller & Fazeni (2011). Obwohl Stickstoff nicht begrenzt ist, weist die Stickstoffbilanz mit einem Nettoimport über Futtermittel und Biomasse von 6,1 kg N/(E.a) auf eine andere begrenzte Ressource hin. Die im Ausland verwendeten Flächen für die Produktion der nach Österreich importierten landwirtschaftlichen Produkte stehen in Österreich nicht zur Verfügung und werden virtuell importiert. Eine Darlegung dieses Sachverhaltes ist in einem Beitrag von Zessner et al. (2011) ausgeführt.

Im Gegensatz zu Stickstoff ist Phosphor eine begrenzte Ressource. Weltweit gibt es nur wenige Lagerstätten an Phosphorerenen; sämtlicher Phosphormineraldünger muss nach Österreich importiert werden.

Im Referenzzeitraum wurden 2,1 kg P/(E.a) in Form von Dünger importiert. Dazu kommen weitere Nettoimporte über Futtermittel, Biomasse und sonstiges von 0,9 kg P/(E.a). Auch wenn es innerhalb der letzten Jahrzehnte zu einer Anreicherung von Phosphor in den landwirtschaftlichen Böden gekommen ist und eine Aussetzung der P-Düngung für eine kurze Zeitdauer in Abhängigkeit des Standortes ohne Ertragseinbußen möglich ist, muss Phosphor langfristig den landwirtschaftlichen Flächen für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zugeführt werden. Mehr Unabhängigkeit kann durch eine optimierte Kreislaufwirtschaft erreicht werden. So fallen Abfälle (besonders Schlachtabfälle haben einen hohen Phosphorgehalt) aus der Industrie und Klärschlämme in etwa der gleichen Größenordnung an wie der derzeitige Düngemittelimport. Momentan werden aber nur ca. 16% der Schlämme als Dünger in der Landwirtschaft verwendet. Der Rest wurde im Referenzzeitraum deponiert, vor Deponierung der Asche verbrannt oder im Landschaftsbau eingesetzt, wo kaum Bedarf an Phosphor besteht. In den Szenarienberechnungen wird diesbezüglich keine Änderung angenommen, da keine Systemoptimierung erfolgt.

Unter Vereinfachung der *Abbildung 10* und *2* und der Berechnung von Nettoflüssen erhält man *Abbildung 10* und *Abbildung 11*. Betrachtet wird das System Produktion und Verzehr von Nahrungsmitteln inklusive Nahrungsmittel-, Futter und Düngemittelindustrie, Abwasser und Abfallwirtschaft, Forstwirtschaft und die Gewässer. Lager und Lageränderungen werden für Phosphor dargestellt. Für Stickstoff wird in den Böden keine Lageränderung angenommen; die N-Senke Deponie im Prozess „Abwasser und Abfallwirtschaft“ wird mit dem abfallwirtschaftlichen Prozess „Weiterbehandlung“ zusammengefasst und nicht weiter unterschieden.

Die in das System zu importierende (zu kaufende) Menge an Stickstoff, zusammengesetzt aus Mineraldünger (über die Ammoniaksynthese gewonnen), Futtermittel und sonstige Nettoimporte, liegt in den Szenarien deutlich unter dem Referenzzustand. In Szenario 1A müssen 37%, in Szenario 1B 27% weniger N in Relation zum Referenzzustand importiert werden. In Szenario 1C ist die Menge an nach Österreich zu importierendem N immerhin noch um 17% geringer als im Referenzzustand. Der benötigte Ressourceneinsatz steigt somit mit zunehmender Flächennutzung für die Energieerzeugung. Ähnlich verhält es sich mit den Nettoemissionen in Fließgewässer. Die größte Reduktion findet in Szenario 1Ain mit 15%, bzw. mit 21% in Szenario 1Aaus (Änderungen werden auch im Ausland angenommen) statt. Mit zunehmender Flächennutzung sinkt diese Reduktion auf 9% in Szenario 1Cin bzw. 11% in Szenario 1Caus; das Szenario 1Bin und 1Baus liegt mit 13% und 19% dazwischen. Emissionen an NH_x , NO_x und N_2O verringern sich in den Szenarien ebenfalls, Emissionen in die Troposphäre reduzieren sich in Szenario 1A um 41%, in Szenario 1B um 37% und in Szenario 1C um 17%. Die Reduktion in Szenario 1A geht zu 96% auf verminderte Emissionen aus der Tierhaltung (Stall-, Lager-, Management-, Weide- und Ausbringungsverluste von Wirtschaftsdünger) zurück. Die Emissionen aus der Tierhaltung verändern sich in den verschiedenen Szenarien nicht. Jedoch werden durch die Produktion von Biogas Gärrückstände gelagert und auf landwirtschaftliche Flächen zur Düngung aufgebracht. Infolgedessen kommt es zu Lager- und Aufbringungsverlusten. In Szenario 1C machen die Emissionen aus der Biogaserzeugung 36% der gesamten Emissionen aus.

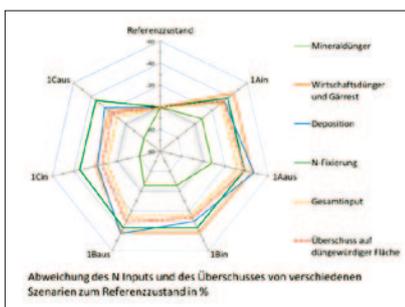


Abb. 8: Relative Abweichung (%) der N Inputflüsse auf landwirtschaftlich genutzten Böden und des Überschusses in den landwirtschaftlichen Böden im Vergleich zum Referenzzustand für die einzelnen Szenarien

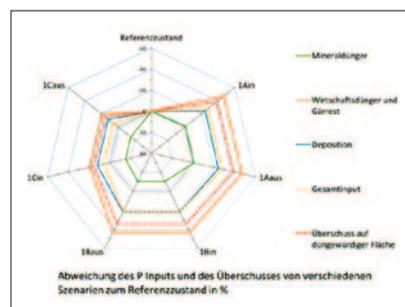


Abb. 9: Relative Abweichung (%) der P Inputflüsse auf landwirtschaftlich genutzten Böden und des Überschusses in den landwirtschaftlichen Böden im Vergleich zum Referenzzustand für die einzelnen Szenarien

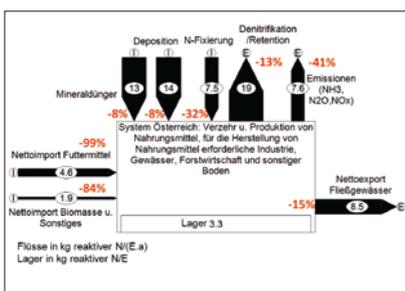


Abb. 10: Import- u. Exportflüsse von Stickstoff im Referenzzustand; Änderungen in Szenario 1A in % zum Referenzzustand

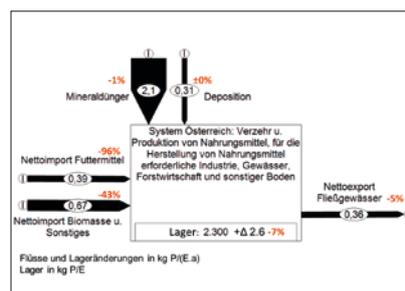


Abb. 11: Import- u. Exportflüsse von Phosphor im Referenzzustand; Änderungen in Szenario 1A in % zum Referenzzustand

Auch für Phosphor gibt es eine Abnahme des Ressourcenbedarfs vom Referenzzustand über Szenarien 1B und 1C zum Szenario 1A. In Szenario 1A sinkt der erforderliche P-Nettoimport (Futtermittel, Mineraldünger und sonstige Biomasse) um 23%; in Szenario 1C ist der P Import noch um 12 % niedriger als im Referenzzustand. Von besonderer Bedeutung ist für P auch die Lageränderung. Diese setzt sich zusammen aus der An- und Abreicherung von P in den Böden, der Retention von P in den Gewässern und dem Verbleib von P in den Deponien. Bezieht man die Lageränderung von P im landwirtschaftlich genutzten Boden anstatt auf Einwohner (Tabelle 4) auf die jeweilige düngewürdige Fläche, so reduziert sich die Lageränderung in Szenario 1A um 24%, in Szenario 1B um 23 % und in Szenario 1C um 15 %.

4. Zusammenfassung und Diskussion

Die Stoffflussanalyse ist ein geeignetes Werkzeug für die Betrachtung von Nährstoffflüssen in der Nahrungsmittelproduktion und im Bereich des Nahrungsmittelverzehrs. Die Darstellung des Referenzzustandes zeigt die Abhängigkeit von Nährstoffimporten in Form von Futter und Düngemitteln zur Sicherung der Herstellung von landwirtschaftlichen Produkten in Österreich. Selbst unter Berücksichtigung des Exportes von Lebensmitteln und sonstiger Biomasse findet ein Nettoimport von Nährstoffen statt.

Ressourcenseitig betrachtet sind die für die Produktion aufgewendeten 20 kg N/(E.a) im Wesentlichen eine Frage des Energieeinsatzes und der Flächenverfügbarkeit (Dünger aus industrieller Produktion sowie Futtermittel und sonstige Biomasse aus dem Import). Im Gegensatz dazu stellen die 3,0 kg P/(E.a) eine begrenzte Ressource dar, welche durch Abbau von P-haltigem Gestein gewonnen werden muss.

Bei der Berechnung von Szenarien, welchen eine durch die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfohlene Ernährung und Eigenversorgung der österreichischen Bevölkerung mit Nahrungsmitteln zugrunde liegt, sinkt der notwendige Einsatz an externer Nährstoffnachlieferung. Eine konventionelle landwirtschaftliche Produktion würde in diesem Fall eine Nachlieferung von gut 12 kg N/(E.a) bzw. 2,3 kg P/(E.a) über Mineraldünger und Biomasse benötigen. Dies ist für N um knapp 40% bzw. für P um ca. 23% weniger als die derzeit übliche Nährstoffnachlieferung über Mineraldünger,

TABELLE 4

P Nettoimporte und Nettoexporte sowie Lager und Lageränderungen im Referenzzustand und den einzelnen Szenarien

Szenario	Referenzzustand	1A	1B	1C
Import in kg P/(E.a)				
Deposition	0,3	0,3	0,3	0,3
Futtermittel Nettoimport	0,4	0,0	0,0	0,0
Mineraldünger	2,1	2,1	2,3	2,4
Biomasse u. Sonstiges Nettoimport	0,5	0,3	0,3	0,3
Summe Import	3,3	2,7	2,9	3,0
Export in kg P/(E.a)				
Fließgewässer Nettoexport	0,4	0,3	0,4	0,4
Summe Export	0,4	0,3	0,4	0,4
Lager in kg P/E				
Böden	2.300	1.900	1.900	2.100
Tierbestand	0,8	0,4	0,4	0,4
Baumbestand	35,8	36	36	36
Lageränderung in kg P/(E.a)				
Böden	0,6	0,3	0,4	0,5
Retention von P in Gewässern	0,2	0,1	0,2	0,2
Abfallwirtschaft	1,4	1,5	1,5	1,5
Bilanzfehler in kg P/(E.a)	0,8	0,3	0,5	0,5

TABELLE 5

N Nettoimport und Nettoexportflüsse im Referenzzustand und den einzelnen Szenarien

Szenario	Referenzzustand	1Ain	1Aaus	1Bin	1Baus	1Cin	1Caus
Import in kg N/(E.a)							
Deposition	13,8	12,6	10,2	12,8	10,5	13,3	12,4
Futtermittel Nettoimport	4,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mineraldünger	13,4	12,3	12,3	14,2	14,2	16,2	16,2
Biomasse u. Sonstiges Nettoimport	1,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
N Fixierung	7,5	5,2	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3
Summe Import	40,9	30,2	27,7	32,2	30,0	35,0	34,0
Export in kg N/(E.a)							
Emissionen (NH ₃ , NO _x , N ₂ O)	7,6	4,5	4,5	4,8	4,8	6,3	6,3
Fließgewässer Nettoexport	8,5	7,2	6,6	7,3	6,8	7,7	7,5
Dentifikation/Retention	18,7	16,3	14,1	16,9	14,8	17,3	16,3
Summe Export	34,7	28,0	25,3	29,0	26,4	31,3	30,1
Lageränderung und weitergehende Behandlung in kg N/(E*a)							
Abfallwirtschaft	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Bilanzfehler in kg N/(E.a)	2,9	2,2	2,5	3,2	3,6	6,7	3,9

Biomasse und Importfuttermittel. Der in den Szenarien verringerte Ressourceninput nähert sich allerdings mit zunehmender Flächennutzung zur Erzeugung von Bioenergie an den Referenzzustand an. Bei maximaler Energieproduktion von

NAWAROS liegt die Reduktion der erforderlichen Nährstoffzulieferung um 17 % für N bzw. 2 % für P unter der Nährstoffzulieferung über Mineraldünger und Importfuttermittel im Referenzzeitraum (2001-2006).

Veränderungen der Nährstoffemissionen in die Gewässer für die unterschiedlichen Szenarien einer Ernährungsumstellung wurden basierend auf den in Schilling et al. (2011) dargestellten Untersuchungen berechnet. Die Gewässerbelastungen nehmen in den Szenarien deutlich ab. Selbst bei kompletter Eigenversorgung der österreichischen Bevölkerung würden die N-Emissionen in die Gewässer um 15 % und die P Emissionen um 5 % zurückgehen. Durch eine weitere Verringerung der NH_x Depositionen im benachbarten Ausland (durch gleiche Maßnahmen auf der Ernährungsseite und landwirtschaftlichen Produktion wie in Österreich) sinken die N Emissionen um 21 %. Haupteinflussfaktor für die geringeren Emissionen ist die verminderte Tierhaltung infolge des geringeren menschlichen Fleischverzehr und der Wegfall des Exports an tierischen Lebensmitteln.

Werden freiwerdende landwirtschaftliche Produktionskapazitäten zur Produktion von Bioenergie genutzt, erhöhen sich die Emissionen in die Gewässer wieder. Infolgedessen liegen bei einer maximalen Ausnutzung der Produktion von Bioenergie in der Österreichischen Landwirtschaft die N-Emissionen in Österreich nur 9 % und die P-Emissionen nur 1 % unter jenen des Referenzzeitraumes.

NH_x Emissionen in die Luft würden bei einer Inlandsproduktion einer ausgewogenen Ernährung gegenüber dem Referenzzeitraum um 41 % zurückgehen. Im Falle einer maximalen Energieproduktion in der Landwirtschaft über Biomasse würde sich diese Verbesserung im Vergleich mit dem Referenzzeitraum lediglich im Bereich von 17 % bemerkbar machen. Entsprechende Reduktionen der NH_x -Depositionen in Österreich könnten nur dann erreicht werden, wenn im benachbarten Ausland ähnliche Veränderungen umgesetzt würden. Ursache dafür ist, dass ein Großteil der NH-Depositionen in Österreich aus dem Ausland stammt, während ein großer Teil der NH-Emissionen in Österreich zu Depositionen im benachbarten Ausland führt.

Insgesamt würde eine Ernährungsumstellung entsprechend den DGE-Empfehlungen zu einer deutlichen Steigerung der Ressourceneffizienz der Ernährung der österreichischen Bevölkerung führen. Dies gilt vor allem für den Stickstoff. Bei Phosphor ist ebenfalls ein Potential zur Effizienzsteigerung durch Ernährungsumstellungen gegeben. Noch relevanter in dieser Beziehung ist jedoch eine Nutzung jener Phosphorreserven aus z.B. Klärschlamm oder Tiermehl, die zurzeit weitgehend ungenutzt bleiben.

5. proVISION

Diese Veröffentlichung ist aus dem Projekt „GERN“ hervorgegangen. „GERN“ ist ein Projekt im Rahmen des Programmes proVISION, welches durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung gefördert wird. Das Programm proVISION setzt die österreichische Strategie „Forschung für nachhaltige Entwicklung (FORNE)“ um und erarbeitet – gemeinsam mit komplementären Forschungsprogrammen – das wissenschaftliche Fundament der österreichischen Nachhaltigkeitsstrategie. (<http://www.provision-research.at/index.html>).

Weiters wurde die Forschungstätigkeit durch den FWF im Rahmen des „Vienna Doctoral Programme on Water Resource Systems ((DK-plus W1219-N22))“ unterstützt. ■

Korrespondenz:

Dipl.-Ing. Simon Thaler
 Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und
 Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien
 Karlsplatz 13
 1040 Wien
 Telefon+43 (1) 58801 - 226 14
 +43 (0)1 / 58801 - 22612
 +43 (1) 58801 - 226 14
 Fax+43 (0)1 / 58801 - 22699
 E-Mail: simon.thaler@tuwien.ac.at
sthaller@iwag.tuwien.ac.at

LITERATUR

- Amon B, Fröhlich M, Weissensteiner R, Zablatnik B, Amon T (2007)** Tierhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement in Österreich. Wien.
- Baccini P, Brunner PH (1991)** Metabolism of the Anthroposphere, New York, Springer-Verlag.
- Bach M, Frede HG (2005)** Assessment of Agricultural Nitrogen Balances for Municipalities—Example Baden-Wuerttemberg (Germany). EWA online.
- Behrendt H, Huber P, Kornmilch M, Opitz D, Schmoll O, Scholz G, ET AL. (1999)** Nutrient emissions into river basins of Germany, Berlin.
- Benedictow A, Fagerli H, Gauss M, Jonson JE, Nyiri Á, Simpson D, ET AL. (2009)** Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2007 - EMEP Status Report 1/2009.
- BMLFUW (2001)** Bundesabfallwirtschaftsplan 2001, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VI/3.
- BMLFUW (2006)** Bundesabfallwirtschaftsplan 2006, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VI/3.
- BMLFUW (2008)** Deckungsbeiträge und Daten für die Betriebsplanung 2008, Wien, BMLFUW - Referat II b, LFI Österreich.
- BMLFUW (2002a)** Gewässerschutzbericht 2002 - gemäß § 33e Wasserrechtsgesetz BGBl. Nr. 215/1959 in der Fassung BGBl. I Nr. 156/2002, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - Sektion VII.
- BMLFUW (2002b)** Grüner Bericht 2001, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5.
- BMLFUW (2003)** Grüner Bericht 2002, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5.
- BMLFUW (2004)** Grüner Bericht 2004 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2003, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5.
- BMLFUW (2005)** Grüner Bericht 2005, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5.
- BMLFUW (2006)** Grüner Bericht 2006, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5.
- BMLFUW (2007)** Grüner Bericht 2007, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5.
- BMLFUW (2008)** Kommunale Abwasserrichtlinie der EU - 91/271/EWG - Österreichischer Bericht 2008, Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - Sektion VII.
- Bohner A, Eder G, Schink M (2007)** „Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem“ in Irdning.
- Camargo JA, Alonso Á (2006)** Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831-849.
- Cordell D (2010)** The Story of Phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security. [online] <http://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:291760> (Accessed May 25, 2010).
- Danius L (2002)** Data uncertainties in material flow analysis.
- DGE (2004)** DGE-Ernährungskreis - Lebensmittelmengen., Deutsche Gesellschaft für Ernährung.
- Dissemond VH, Gomiscek T, Zessner M (1991)** Landwirtschaftliche Stickstoffbilanzierung für Österreich unter besonderer Berücksichtigung ihrer Einbeziehung in die Volkswirtschaft. *Die Bodenkultur*, 42(Heft 1), 84-95.
- EMEP (2009)** EMEP Status Report 1/09, Norwegian Meteorological Institute
- Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (2006)** Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, ed.). (6. Ausgabe).
- FAO (2010)** FAO Statistical Yearbook 2009. [online] <http://www.fao.org/economic/ess/publications-studies/statistical-yearbook/fao-statistical-yearbook-2009/a-resources/en/> (Accessed October 14, 2010).
- Fehringer R, Rechberger H, Pesonen HL, Brunner PH (1997)** Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA). Techn. Univ., Inst f. Wassergüte u. Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft.
- Galler J (2009)** Wirtschaftsdünger Anfall, Lagerung, Verwertung, Umwelt - Praxisratgeber (Landwirtschaftskammer Salzburg, ed.).
- Galloway JN, Townsend AR, Erisman JW, Bekunda M, Cai Z, Freney JR, ET AL. (2008)** Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*, 320(5878), 889-892.
- Glenck E, Lampert C, Raessi, Brunner PH (1995)** Phosphorbilanz des Kremstales, Bericht des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung, Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien.
- Götz B (1998)** Stickstoffbilanz der oesterreichischen Landwirtschaft nach den Vorgaben der OECD: aktualisiert und erweiterte Fassung. *Berichte (Austria): Umweltbundesamt*.
- Götz B, Zethner G (1996)** Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft—Der Nährstoffhaushalt im Hinblick auf seine Umweltwirkungen am Beispiel des Einzugsgebietes der Strem. *Monographie*, 78.
- Hedbrant J, Sorme L (2001)** Data Vagueness and Uncertainties in Urban Heavy-Metal Data Collection. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, Volume 1(Number 3-4), pp. 43-53(11).
- Houghton J, Meira Filho L, Lim B, Tréanton K, Mamaty I, Bonduki Y, ET AL. (eds.) (1997)** Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 1: Reporting Instructions, Vol. 2: Workbook, Vol. 3: Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kaas T, Fleckseder H, Brunner PH (1994)** Stickstoffbilanz des Kremstales, Bericht des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung, Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft.
- Kroiss H, Zessner M, Deutsch K, Schaar W, Kreuzinger N (1998)** Nährstoffbilanzen der Donauanrainerstaaten-Erhebungen für Österreich. TU-Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft.
- LFL (2008)** Basisdaten für die Ermittlung des Düngebedarfs; für die Umsetzung der Düngeverordnung (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, ed.).
- Obernosterer R, Reiner I (2003)** Stickstoffbilanz Österreich“. Beitrag der Abfallwirtschaft zum Stickstoffhaushalt Österreichs, Villach.
- OECD (2008)** ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AGRICULTURE IN OECD COUNTRIES SINCE 1990, Paris, France.
- Orthofer R, Knoflacher M, Züger J (1995)** N₂O Emissionen in Österreich, Seibersdorf, Seibersdorf Research.
- Penman J, Kruger D, Galbally I, Hirashi T, Nyenzi B, Emmanuel S, ET AL. (2000)** Report on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC Good Practice Report).
- Rabalais NN (2002)** Nitrogen in Aquatic Ecosystems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(2), 102-112.
- Schadauer K, Büchsenmeister R, Hauk E, Russ W, Frank G (2004)** Ergebnisse der Österreichischen Waldinventur 2000 - 2002. [online] <http://web.bfw.ac.at/i7/Oewi.owei0002?geo=0> (Accessed February 9, 2010).
- Schilling C, Zessner M, Kovacs A, Hochedlinger G, Windhofer G, Gabriel O, ET AL. (2011)** Stickstoff- und Phosphorbelastungen der Fließgewässer Österreichs und Möglichkeiten zu deren Reduktion, ÖWAW, Heft 5-6.
- Smith VH, Tilman GD, Nekola JC (1999)** Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179-196.
- Son Y (2001)** Non-symbiotic nitrogen fixation in forest ecosystems. *Ecological Research*, 16(2), 183-196.
- Spaun S, Schachermayer E, Kaas T, Lauber T, Brunner PH (1994)** Entscheidungshilfen für die Verfahrensauswahl in der Abfallwirtschaft im Raum Oberösterreich/Salzburg, Wien.
- STATISTIK AUSTRIA (2010)** Ankünfte und Nächtigungen im Tourismus-Kalenderjahr (2000 bis 2009) STATISTIK AUSTRIA (2007) Durchschnittliche Lebend- und Schlachtgewichte 2006.
- STATISTIK AUSTRIA (2009a)** Futtermittelaufkommen und -Verteilung 2001-2006; unveröffentlicht.
- STATISTIK AUSTRIA (2009b)** ISIS - Integriertes Statistisches Informationssystem.
- STATISTIK AUSTRIA (2010)** Reisegewohnheiten der Inländerinnen und Inländer von 1990 bis 2009
- STATISTIK AUSTRIA (2009a)** Statistik des Bevölkerungsstandes - Revidierte Ergebnisse für 2002 bis 2008
- STATISTIK AUSTRIA (2009b)** Urlaubs- und Geschäftsreisen der Inländerinnen und Inländer.
- STATISTIK AUSTRIA (2007)** Versorgungsbilanzen für tierische und pflanzliche Produkte 2001 bis 2006. [online] www.statistik.at.
- Steinmüller H, Fazeni K (2011)** Energiebilanzen der österreichischen Landwirtschaft unter Berücksichtigung von Ernährungsgewohnheiten. ÖWAW, Heft 5-6.
- Stewart WM, Dobb DW, Johnston AE, Smyth T. J. (2005)** The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production. *Agron J*, 97(1), 1-6.
- Tilman D. (1999)** Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(11), 5995-6000.
- UBA (2008)** Austria's National Inventory Report (IIR)2008 - Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Vienna, Umweltbundesamt.
- UBA (2009)** Austria's National Inventory Report 2009 - Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Vienna, Umweltbundesamt.
- WIENER BÖRSE AG (2001)** Österreichische Holzhandelsausancen 1973,
- Zessner M, Lindtner S (2005)** Estimations of municipal point source pollution in the context of river basin management, *Water Science and Technology*, 52 (2005), 9; S. 175 - 182..
- Zessner M, Helmich K, Thaler S, Weigl M, Wagner KH, Haider T, ET AL. (2011a)** Ernährung und Flächennutzung in Österreich. ÖWAW, Heft 5-6.
- Zessner M, Steinmüller H, Wagner KH, Krachler M, Thaler S, Fazeni K, ET AL. (2011b)** Gesunde Ernährung und Nachhaltigkeit - Grundlagen, Methodik und Erkenntnisse eines Forschungsprojektes in Rahmen des proVISION Programmes des BMWF. ÖWAW, Heft 5-6.