

Verschiedene Maßnahmen der Düngung waren bereits seit dem Altertum eine bekannte Methode zur Ertragssteigerung in der Landwirtschaft und wurden im Laufe der Zeit immer weiter durch den Einsatz neuer Düngestoffe und durch neue Ausbringungsmethoden optimiert. Die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Schwefel und Kalium, die dem Boden durch den Pflanzenanbau entzogen werden, können diesem über die konzentrierte Gabe mineralischer Dünger gezielt wieder zugeführt werden (vgl. DIFF 1997). Die Verwendung von organischen Düngern dient neben dem Zweck der reinen Nährstoffnachlieferung vor allem der Verwertung anfallender Abfallprodukte und somit der Schließung des landwirtschaftlichen Nährstoffkreislaufs. Keine Pflanze kann ohne ausreichende Mengen der entsprechenden Nährstoffe sowie ohne genügend Licht und Wasser wachsen und überleben. Dieser Umstand wurde im Minimumgesetz von Justus von Liebig (1855) ausgedrückt, welches besagt, dass das Wachstum einer Pflanze durch die jeweils knappste Ressource begrenzt wird (vgl. Wasserkooperation Herford-Bielefeld 2011). Während in vielen Ländern das wichtigste Ziel der Landbewirtschaftung die ausreichende Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung bei gleichzeitig hoher Qualität und niedrigen Preisen ist, stellt sich die Situation in den Industriestaaten Europas und Amerikas anders dar. Aufgrund der oftmals erreichten Überschussproduktionen wurden die Zielsetzungen der Landbewirtschaftung weiter gesteckt. So spielt vor allem die Umweltverträglichkeit der Produktion, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und die Landschaftspflege eine entscheidende Rolle (vgl. Köppen 1993).

Die Ausbringung von Düngern hat jedoch nicht nur ertragssteigernde Vorteile, sondern kann bei falscher Anwendung zu erheblichen Umweltbelastungen führen. Vor allem die Auswaschung von überschüssigen Nährstoffen kann zur Belastung von Oberflächengewässern, Grundwasser und Trinkwasser führen. Auch Atmosphäre und Böden werden bei unsachgemäßer Verwendung der Düngestoffe negativ beeinflusst. Um solche Umweltbelastungen zu minimieren, wurde in Deutschland bereits 1977 das Düngemittelgesetz zur Ausbringung von Düngemitteln verabschiedet, welches in den folgenden Jahren durch weitere Verordnungen ergänzt wurde (vgl. TLL 2001).

Mineralische Dünger setzen sich zumeist aus einzelnen oder mehreren anorganischen Verbindungen zusammen. Die Freisetzung der Stoffe erfolgt nach deren Umsetzung im Boden. Stickstoffverbindungen zählen zu den wichtigsten Düngertypen und werden aufgrund ihrer Eigenschaft als Baustein vieler primärer und sekundärer Pflanzenstoffe sehr häufig ausgebracht (vgl. TLL 2001). Die Düngung von Stickstoff erfolgt meist in Form von Nitrat- und Ammoniumverbindungen sowie organisch durch Gülle und Mist.

Die Überdüngung nimmt weltweit aufgrund der Intensivierung der Landwirtschaft immer weiter zu. Der globale Dün-

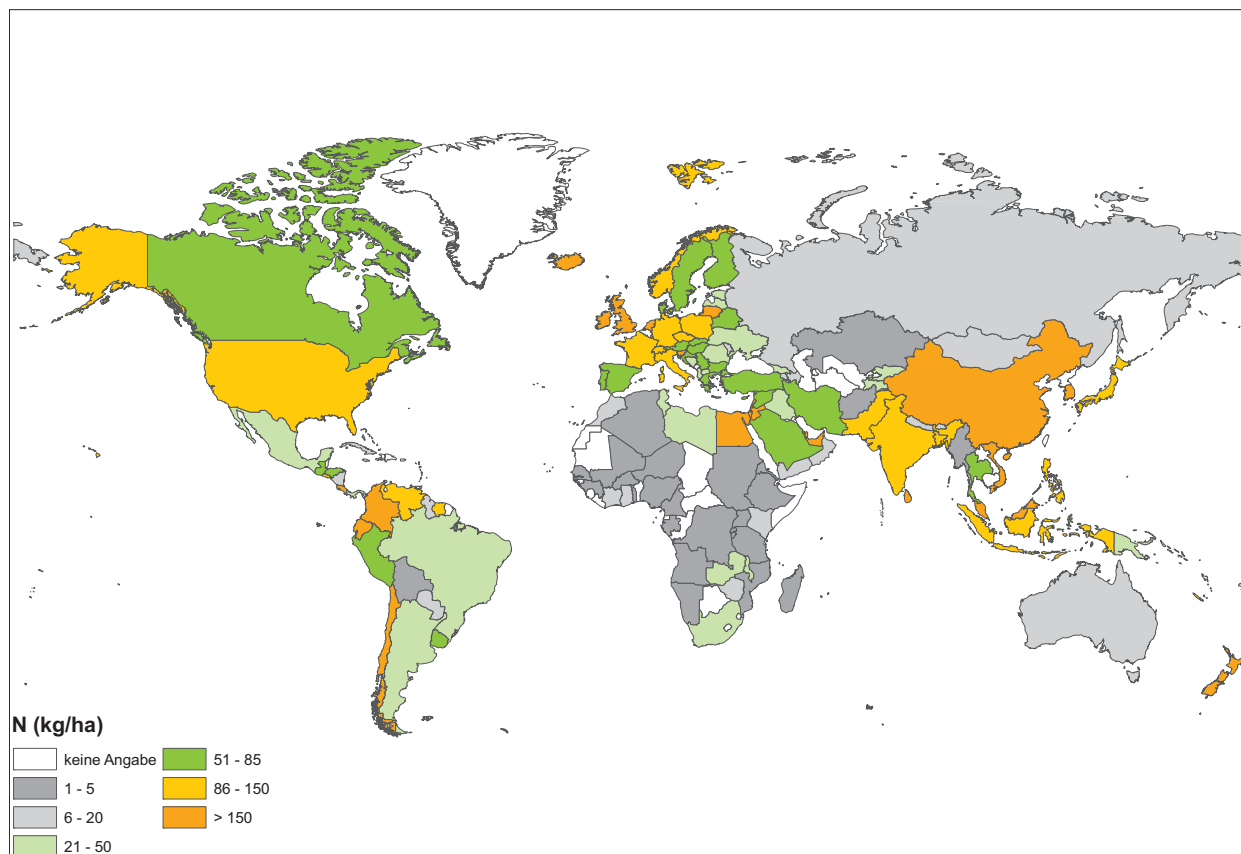
gerverbrauch lag im Jahr 2010 bei rund 170 Mill. Tonnen und wird voraussichtlich auf 188 Mill. Tonnen 2014 ansteigen (vgl. FAO 2010). Der weltweite Verbrauch an Stickstoffdüngern im Jahr 2007 ist in der Karte (vgl. Abb. 1) dargestellt. Erkennbar als größte Verbraucher sind hierbei China, Neuseeland, Großbritannien, Irland und Indien. Zu den größten Düngerherstellern zählen ebenfalls China und Indien sowie die USA und Russland. Für den Verbrauch an stickstoffhaltigem Dünger sagt die Prognose der FAO weltweit einen Anstieg von 100 Mill. Tonnen (2010) auf 110 Mill. Tonnen (2014) voraus, was einer Wachstumsrate von 2,6% pro Jahr entspricht. Der stärkste Anstieg wird hierbei in Asien und Europa zu verzeichnen sein (vgl. FAO 2010).

Die Auswirkungen einer übermäßigen Düngung sind in vielen Umweltbereichen erkennbar. Vor allem die Auswaschung von Nitraten, Ammonium und Phosphaten spielt eine große Rolle, da diese Stoffe in Gewässern das Algenwachstum fördern und damit eine Eutrophierung, also eine Nährstoffanreicherung, verursachen. Der Eintrag der Nährstoffe führt zunächst zu einem verstärkten Algenwachstum. Nach deren Absterben sinken die Algen auf den Meeresgrund ab und werden dort von Bakterien unter Verwendung von Sauerstoff zersetzt (vgl. BUND 2007). Der Prozess wird anschließend von Schwefelwasserstoff produzierenden Bakterien fortgesetzt, so dass am Meeresgrund giftige und sauerstofffreie Zonen entstehen. Als weitere Folge von Stickstoffauswaschung können Nitrate im anaeroben Milieu zu gesundheitsschädlichem Nitrit umgewandelt werden (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1999). Zudem führen das flüchtige Stickstoffdioxid und Ammoniak in Verbindung mit dem Niederschlag zur Entstehung von saurem Regen.

Ein bekanntes Beispiel für einen erhöhten Nährstoffeintrag in Gewässern stellt die Ostsee dar. Hier kommt es seit vielen Jahren regelmäßig zu einem übermäßigen Wachstum giftiger Blaualgen (Cyanobakterien), und es wurde festgestellt, dass bereits weite Teile des Meeres betroffen sind. Ein Grund für die Belastung stellt neben der Überdüngung auch der Schadstoffeintrag aus der Kanalisation dar. Besonders Waschmittel, die in der Vergangenheit Phosphate enthielten, spielten dabei eine Rolle. Mittlerweile wurden diese Waschmittel in den meisten Ländern durch phosphatfreie Substanzen ersetzt. Durch verschiedene Abkommen, wie dem Ostseeaktionsplan der Anrainerstaaten, konnte der Stoffeintrag in den letzten Jahrzehnten schrittweise verringert werden. Dennoch bleibt die Eutrophierung weiterhin ein Problem (vgl. Institut für Ostseeforschung 2010).

Ein anderer Effekt, der zum einen natürlicherweise im Boden stattfindet und zum anderen durch die übermäßige Stickstoffdüngung verstärkt wird, ist das Entweichen von Lachgas (Distickstoffdioxid N_2O). Lachgas wird im Boden durch die Aktivität von Nitrat zersetzender Bodenorganismen freigesetzt. Es

Abb. 1
Stickstoffdüngung 2007



Quelle: Weltbank (2011); Berechnungen des ifo Instituts.

stellt ein äußerst wirksames Treibhausgas dar (300-fach klimawirksamer als CO_2) und wird auch als ozonschichtschädigend angesehen. Die Landwirtschaft wird dabei als Hauptemittent für N_2O angesehen, beispielsweise stammen ca. 70% der Gesamtemissionen in Deutschland aus der Landwirtschaft (vgl. Deutscher Landwirtschaftsverlag 2011). Dabei kommt es zu einem linearen Anstieg der N_2O -Emissionen mit steigendem Stickstoffeintrag (vgl. Freibauer 2010). Die Emissionen werden durch anaerobe Verhältnisse im Boden, beispielsweise aufgrund von Bodenverdichtung und vermehrte Bodenfeuchte begünstigt. In der EU sind die N_2O -Emissionen in den letzten 20 Jahren leicht gesunken, vor allem in den Ostblockländern (vgl. UNFCCC 2011). Die höchsten Gesamtanstiege landwirtschaftlicher N_2O -Emissionen sind in Kanada und Großbritannien zu verzeichnen, die stärksten Rückgänge in Singapur, Katar und der Ukraine.

Auswege aus der Überdüngung und der Lachgasemissionen können die Steigerung der Stickstoffeffizienz, die Anpassung der Düngermenge an die jeweiligen Standorte, Feldfrüchte und Jahreszeit sowie die Verbesserung der Bodenstruktur sein, da diese in einem stabilen Zustand die vermehrte Auswaschung von Nitrat und Ammonium verringern

kann (vgl. Schmeer et al. 2009). Dazu tragen auch eine geeignete Bodenbearbeitung und der Einsatz spezieller Landmaschinen bei. Zudem können Trinkwasserschutzgebiete helfen, Nitratreinträge in bestimmten Gebieten zu vermeiden bzw. zu begrenzen.

Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1999), »Verminderung der Nitratauswaschung«, online verfügbar unter: http://www.landkreis-kronach.de/buergerservice_landratsamt/dienstleistungen/wasserrecht/anlagenvo_umgang/Merkblatt_Verminderung_der_Nitratauswaschung.pdf.
- BUND (2007), »Nährstoffe«, online verfügbar unter: <http://www.ostseeschutz.de/seiten/wissen/gefaehrderung/naehrstoffe.htm>.
- Deutscher Landwirtschaftsverlag (2011), »Klimagasen aus dem Acker- und Pflanzenbau auf der Spur«, online verfügbar unter: <http://www.agrarheute.com/klimagase>.
- DIFF – Deutsches Institut für Fernstudienforschung an der Universität Tübingen (Hrsg.) (1997), *Veränderung von Böden durch anthropogene Einflüsse*, Berlin.
- FAO – Food and Agriculture Organization (2010), »Current world fertilizer trends and outlook to 2014«, Rom, online verfügbar unter: <ftp://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto14.pdf>.
- Freibauer, A. (2010), »Treibhausgasemissionen durch Landbewirtschaftung und Ansatzstellen für den Klimaschutz«, online verfügbar unter: http://netzwerk-land.at/umwelt/veranstaltungen/downloads_aumtagung/aum_02_freibauer.

Institut für Ostseeforschung (2010), »Faktenblatt zur Eutrophierung«, online verfügbar unter: <http://www.io-warnemuende.de/eutrophierung.html>.

Köppen, D. (1993), *Agrochemische Bodenfruchtbarkeitskennziffern zur agrar-ökologischen Beurteilung von Bodennutzungssystemen*, VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Schriftenreihe 36, Darmstadt.

Schmeer, M., R. Loges, D. Nannen, M. Senbayram und F. Taube (2009), »Lachgasemissionen auf intensiv genutztem Grünland in Abhängigkeit von Bodenverdichtung und Stickstoffdüngung«, online verfügbar unter: http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/36741/aggf_2009_riswick_schmeer_et_al.pdf.

TLL – Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2001), *Düngung in Thüringen nach »Guter fachlicher Praxis«*, Schriftenreihe 11, Jena.

UNFCCC (2011), »Greenhouse Gas Inventory Database«, online verfügbar unter: http://unfccc.int/ghg_data/items/3800.php.

Wasserkoooperation Herford-Bielefeld (2011), »Düngung«, online verfügbar unter: <http://www.wasserkoooperation.de/9dueng.htm>.