

Nitrat und Boden

Haenle, Nicola

Von Petersdorf, Benjamin

Inhalt

STICKSTOFF ALS BAUSTEIN DES LEBENS	1
Der natürliche Stickstoffkreislauf	1
Bakterien knacken die Stickstoffbindung	2
Stickstoffverbindungen im Boden	3
Stickstofffixierung durch Sonne und Blitze	3
Video: Der natürliche Stickstoffkreislauf	3
BODENFRUCHTBARKEIT DURCH CHEMIE?	3
Bodenarten	4
Was ist ein guter Boden für die Landwirtschaft?	4
Vom tierischen Dung zum industriellen Dünger	4
Industrielle Düngemittelherstellung	5
Das Haber-Bosch-Verfahren	6
Das Ostwald-Verfahren	6
Salpetersäure-Herstellung	7
Ausgangsstoffe in der industriellen Düngemittelherstellung	7
Video: Industrielle Düngemittelherstellung	8
Die Folgen von falscher Düngung	8
Saurer Regen - saure Böden	8
Der Rückgang der Artenvielfalt	8
Nitrat und Phosphat lassen Gewässer kippen	9
Nitrat im Grund- und Trinkwasser	9
Lachgas heizt das Klima an	9
Düngen nach Gutdünken – warum düngen wir zu viel?	10
Gezielt düngen – aber wie?	11

STICKSTOFF ALS BAUSTEIN DES LEBENS

Stickstoff ist ein unverzichtbarer Bestandteil aller Eiweiße – und somit ein entscheidender Baustein für das Leben auf der Erde. In den Tier- und Pflanzenzellen wirken Eiweiße zum Beispiel als Stützstrukturen und als Speicherort oder Transportmittel für andere Stoffe. Außerdem regulieren sie den Stoffwechsel. Damit der Stickstoff über die Pflanzen in die Nahrungskette und schließlich den Menschen gelangen kann, muss er zunächst über verschiedene natürliche Prozesse in seine Einzelteile gespalten werden¹.

Die Erdatmosphäre besteht zu 78 % aus sogenanntem elementarem Stickstoff. Immer zwei Stickstoffatome sind durch eine sehr starke Bindung verbunden. Bevor Pflanzen den Stickstoff verwerten können, muss diese Bindung gespalten werden. Die freien Stickstoffatome können sich dann mit Sauerstoff und Wasserstoff zu einer Reihe von sogenannten reaktiven Stickstoffverbindungen zusammenfügen.

Die Spaltung der Stickstoffbindung findet in der Natur hauptsächlich durch Bodenbakterien statt, aber auch durch Sonnenstrahlung und Blitzschlag. Man nennt diesen Vorgang Stickstofffixierung. Ein großer Teil der Stickstofffixierung geschieht heute durch den Menschen: Weil in der Natur nicht genügend reaktiver Stickstoff hergestellt wird, um eine intensive Nahrungsmittelproduktion sicherzustellen, hilft der Mensch durch großtechnische Düngemittelherstellung nach.

Die wichtigsten Verfahren der künstlichen Düngerherstellung sind das Haber-Bosch-Verfahren und das Ostwald-Verfahren².

Der natürliche Stickstoffkreislauf

Pflanzen nehmen Stickstoffverbindungen aus dem Boden auf und bauen ihn in ihre Eiweißverbindungen ein. Von da an wird der Stickstoff durch die gesamte Nahrungskette gereicht. Schließlich gelangt er durch die Zersetzung von abgestorbenen Pflanzenteilen, Ausscheidungen von Tieren oder den Tod eines Lebewesens wieder in den Boden zurück.

Zunächst muss der Stickstoff jedoch „fixiert“, also für die Pflanzen verfügbar gemacht werden.

¹ Campbel (1997)

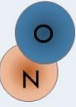
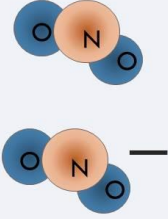
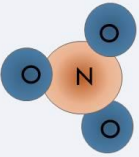
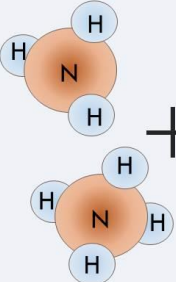

² Universität Graz (2005); Campbel (1997)

Bakterien knacken die Stickstoffbindung

- Stickstofffixierung: Die Umwandlung von elementarem zu reaktivem Stickstoff findet durch verschiedene Arten von Bodenbakterien statt. Diese sogenannten Stickstoff-Fixierer leben frei oder in Symbiose mit bestimmten Pflanzen, den Leguminosen.
- Durch enzymatische Prozesse verarbeiten die Bakterien den elementaren Stickstoff (N_2) zu Ammonium (NH_4^+).
- Nitrifikation und Denitrifikation: Ammonium kann nun durch weitere im Boden lebende Bakterienarten wie Nitrosomonas, Nitococcus und Nitrobacter zu Nitrat umgewandelt werden. Diesen Schritt nennt man Nitrifikation. Allerdings entsteht bei dieser Umwandlung nicht nur Nitrat. Zu etwa zehn Prozent entstehen auch andere Produkte wie elementarer Stickstoff und Lachgas (N_2O).
- Aufnahme durch die Pflanzen: Die Pflanze kann das entstandene Nitrat aufnehmen und daraus Eiweiße herstellen. Die so von den Pflanzen aufgebaute Biomasse dient Menschen und Tieren als Nahrungsquelle.
- Nitrat Auswaschung: Durch Regengüsse kann nicht aufgenommenes Nitrat in Gewässer und Biotop ausgewaschen werden oder mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen.
- Zersetzung: Pflanzen und das darin enthaltene Eiweiß dienen vielen Lebewesen als Nahrungsgrundlage und Energiequelle. In den Ausscheidungen dieser Lebewesen sind wiederum Stickstoffverbindungen enthalten. Ausscheidungen, abgestorbene Pflanzenteile und tote Tiere werden von Pilzen und Fäulnisbakterien, den so genannten Destruenten, zersetzt. Sie wandeln die enthaltenen Stickstoffverbindungen in Ammonium um, welches wieder in den Kreislauf zurückgeführt wird³.

³ Universität Graz (2005); Müller (o.J.).

Stickstoffverbindungen im Boden

Stickstoff-monoxid	Stickstoff-dioxid/ Nitrit	Nitrat	Ammoniak und Ammonium	Lachgas
NO	NO ₂ /NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₃ /NH ₄ ⁺	N ₂ O
				

Stickstofffixierung durch Sonne und Blitze

Um Stickstoff in Nitrat zu verwandeln ist viel Energie nötig. Diese Energie wird in der Natur durch Blitze oder durch die UV-Strahlung der Sonne frei. Bei Gewittern kann sich der Luftstickstoff mit dem Sauerstoff aus der Luft verbinden und es entstehen so genannte Stickoxide.

Diese Stickoxide lassen sich - auch unter natürlichen Bedingungen - ziemlich leicht in Nitrat umwandeln. Dieses lagert sich im Boden ein und steht dort den Pflanzen zum Wachstum zur Verfügung⁴.

BODENFRUCHTBARKEIT DURCH CHEMIE?

Böden lassen sich auf viele Weisen unterscheiden und kategorisieren. Was allerdings alle Böden gemeinsam haben, sind die Bestandteile: Böden bestehen aus mineralischen und organischen Substanzen, deren Zwischenräume entweder mit Luft oder mit Wasser gefüllt sind.

Bodenarten

Eine wichtige Kenngröße beim Boden ist die so genannte Textur. Sie gibt an, wie groß die einzelnen Bodenteilchen sind. Bei der Textur wird der Boden in sandige, schluffige und tonige Bodenarten eingeteilt. Allerdings gibt es kaum Böden die beispielsweise nur aus Sand bestehen, sondern es sind meist Mischungen aus den drei Texturgrößen. Wichtig für einen Boden, auf dem Pflanzen wachsen sollen ist, wie gut er Nährstoffe und Wasser im Boden halten und speichern kann. Ist ein Boden zu sandig, versickert das Regenwasser zu schnell und mit dem Wasser gehen auch die gelösten Nährstoffe verloren. Ist ein Boden jedoch zu

⁴ Universität Graz (2005)

tonhaltig, staut sich das Wasser und die Pflanzen ertrinken faktisch in der Staunässe. Zudem lässt sich der Boden schlecht bearbeiten.

Was ist ein guter Boden für die Landwirtschaft?

Eine ausgewogene Mischung aus Sand, Schluff und Ton, welche die positiven Eigenschaften der einzelnen Bodenarten kombiniert, ist für die meisten Kulturpflanzen der optimale Boden. Eine Bodenart, die ein solches optimales Verhältnis hat, nennt man Lehm. Lehm wird deshalb auch als vierte Bodenart bezeichnet und ist aus Sicht des Pflanzenanbaus sehr gut geeignet. Neben den obigen positiven Faktoren ist er auch gut mit Maschinen zu bearbeiten.

Wichtig für die Güte eines Bodens ist neben dem optimalen Verhältnis der Textur auch der Nährstoffgehalt. Dieser hängt maßgeblich davon ab, aus welchem Ausgangsgestein der Boden entstanden ist und wie lange die bodenbildenden Prozesse bereits ablaufen. Eine Faustregel besagt: Je älter ein Boden ist, desto weniger Nährstoffe besitzt dieser und desto mehr muss er folglich gedüngt werden⁵.

Vom tierischen Dung zum industriellen Dünger

Neben einem geeigneten Boden, Wasser, Luft und Sonnenlicht brauchen Pflanzen vor allem Nährstoffe. Ihre Verfügbarkeit begrenzt die Produktivität aller Ökosysteme an Land – und die Produktivität der Landwirtschaft. Seit der Erfindung von Ackerbau und Viehzucht trug der Verlust von Boden und seiner Fruchtbarkeit durch Übernutzung bereits zum Untergang vieler Kulturen bei⁶. Da verwundert es nicht, dass schon die ersten Bücher bodenkundliche und landwirtschaftliche Anleitungen enthielten. Doch vor allem in den letzten 150 Jahren hat sich der Umgang mit dem Boden grundlegend verändert⁷.

Mit der Zeit wurden immer fortschrittlichere Methoden und Geräte in der Landwirtschaft entwickelt. Dadurch konnten auch immer höhere Ernteerträge erzielt und immer mehr Menschen ernährt werden. Bis weit ins 19. Jahrhundert hinein führte man die Bodenfruchtbarkeit allein auf organische Verbindungen wie Dung und Knochenmehl zurück.

Um 1840 fand Justus von Liebig jedoch heraus, dass Pflanzen auch ohne diese organischen Substanzen wachsen können: nach Liebigs Auffassung musste man dem Boden nur genügend anorganische Nährstoffe, wie Stickstoff, Kalium und Phosphor zuführen, um die Pflanzen zu ernähren – Brachezeiten waren demnach nicht mehr nötig.

⁵ Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz BW (o.J.)

⁶ Diamond (2005)

⁷ Montgomery (2010)

Zitat von Justus von Liebig, 1843:

„Es muss als landwirtschaftliche Regel akzeptiert werden, dass die Substanzen, die aus dem Boden entnommen werden, ihm wieder vollständig zugeführt werden müssen. Ob dies nun durch Ausscheidungsprodukte, Asche oder Knochen geschieht, ist vollkommen gleichgültig. Es wird eine Zeit kommen, in der Äcker mit einer Lösung gedüngt werden [...] die in Chemiemanufakturen hergestellt wird.“⁸

Von Liebig sollte Recht behalten. Bodenschonende Methoden wie Fruchtwechselwirtschaft und die Anpassung an örtliche Gegebenheiten erschienen den Menschen zunehmend überholt. Der Weg der chemischen Industrie dagegen versprach eine ungeahnte Ertragssteigerung.

Heute sind etwa 30–50 % der landwirtschaftlichen Erträge auf die Zufuhr von mineralischem Dünger zurückzuführen. Ein zu großer Teil des verwendeten Düngers kommt allerdings nicht den Kulturpflanzen zugute, sondern gelangt in tiefere Bodenschichten, Gewässer und Biotope – mit teilweise gravierenden Folgen⁹.

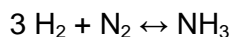
Industrielle Düngemittelherstellung

Um mehr Nahrungsmittel zur Verfügung stellen zu können, entwickelte der Mensch Verfahren, um Nitrat aus Stickstoff herzustellen. Etwa 150 Millionen Tonnen reaktiver Stickstoff gelangen jährlich durch den Menschen in die Umwelt. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts hat sich diese Menge verzehnfacht. Entscheidend dazu beigetragen hat die Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens um 1910.

Um aus elementarem Stickstoff großtechnisch Nitrat für die Düngemittelindustrie zu gewinnen, sind mehrere Schritte notwendig. Das erste Verfahren, das hierbei eine wichtige Rolle einnimmt, ist das Haber-Bosch-Verfahren.

Das Haber-Bosch-Verfahren

Im Haber-Bosch-Verfahren reagiert Stickstoff mit Wasserstoff zu Ammoniak.



Der Doppelpfeil bedeutet, dass diese Reaktion eine Gleichgewichtsreaktion ist. Sie kann also in beide Richtungen verlaufen. Unter normalen Bedingungen liegt das Gleichgewicht komplett auf der linken Seite, d.h. es wird kein Ammoniak gebildet. Damit sich das Gleichgewicht auf die rechte Seite verschiebt und es zur Ammoniakbildung kommt, sind trotz eines Katalysators noch hohe Temperaturen von 400-500 °C und hohe Drücke von

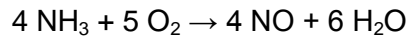
⁸ Zitiert nach Montgomery (2010), S.240.

⁹ Montgomery (2010); Umweltbundesamt (o.J.)

250-350 bar notwendig (zum Vergleich: Auf Meereshöhe herrscht in etwa ein Luftdruck von einem bar)¹⁰.

Das Ostwald-Verfahren

Der nächste Schritt auf dem Weg zur industriellen Nitratgewinnung ist das Ostwald-Verfahren. Hier reagiert das im Haber-Bosch-Verfahren gewonnene Ammoniak mit Sauerstoff zu Stickstoffmonoxid und Wasser.



Diese Reaktion läuft mit Hilfe von Platin als Katalysator bei Temperaturen von 800-950 °C ab. Wichtig bei dieser Reaktion ist, dass das gebildete Stickstoffmonoxid schnell aus der heißen Reaktionszone entfernt wird, da es sonst wieder in die Elemente Sauerstoff und Stickstoff zerfällt.

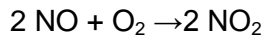
Wie oben gezeigt, laufen die Reaktionen im Haber-Bosch-Verfahren nur bei hohen Temperaturen und Drücken ab und die Reaktionen beim Ostwald-Verfahren bei hohen Temperaturen. Diese zwei Verfahren benötigen daher extrem viel Energie, um am Laufen gehalten zu werden. Dies ist der Grund dafür, warum die Düngemittelindustrie einer der energieintensivsten Industriezweige der Welt ist¹¹.

¹⁰ Riedel & Janiak (2007).

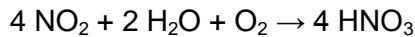
¹¹ Riedel & Janiak (2007).

Salpetersäure-Herstellung

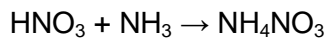
In mehreren nicht mehr so komplexen Verfahrensschritten wird nun aus dem Stickstoffmonoxid Salpetersäure hergestellt. Die Salpetersäure besteht neben Wasserstoff aus Nitrat, welches für die Düngemittelherstellung sehr wichtig ist. Das Stickstoffmonoxid reagiert mit dem Luftsauerstoff zu Stickstoffdioxid.



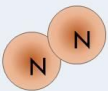


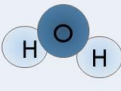
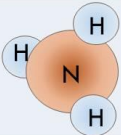
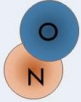
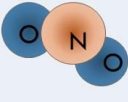
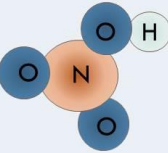
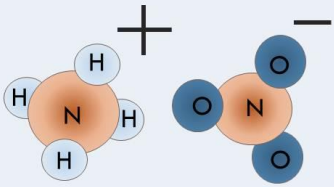
Versetzt man dieses Stickstoffdioxid mit Wasser und Sauerstoff, entsteht die Salpetersäure. Diese Reaktion läuft schon bei Temperaturen von 20-35 °C und Drücken von 3-10 bar ab.



Die Salpetersäure lässt sich sehr leicht zu Düngemittel verarbeiten. Versetzt man sie z.B. mit Ammoniak entsteht das sehr gängige Düngemittel Ammoniumnitrat¹².



Ausgangsstoffe in der industriellen Düngemittelherstellung

Stickstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Wasser	Ammoniak
N ₂	H ₂	O ₂	H ₂ O	NH ₃
				
Stickstoffmonoxid	Stickstoffdioxid	Salpetersäure	Ammoniumnitrat	
NO	NO ₂	HNO ₃	NH ₄ NO ₃	
				

¹² Riedel & Janiak (2007).

Die Folgen von falscher Düngung

Wird mehr Nitrat in den Boden eingebracht, als die Pflanzen aufnehmen können, gelangt es leicht in Gewässer und Biotope außerhalb der landwirtschaftlichen Flächen. So kann falsche Düngung erhebliche Auswirkungen auf den Boden, die Artenvielfalt, Gewässer und sogar auf das Klima haben.

Saurer Regen – saure Böden

Durch Ausgasen gelangen Stickstoffverbindungen aus dem Boden in die Luft. Zusammen mit anderen säurebildenden Abgasen tragen sie zum sauren Regen bei. So werden auch nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen mitsamt dem Boden und der Vegetation mit reaktivem Stickstoff gedüngt.

Wälder, die häufig saurem Regen ausgesetzt sind, werden überdüngt. Der Nährstoffüberschuss kann zu einer Steigerung des Wachstums führen - allerdings wirkt sich das negativ auf die Stabilität von Holz, Blättern und Nadeln aus. Die Kronen von Tannen werden brüchig und die Nadeln weicher, was zu einer höheren Anfälligkeit gegen Frost und Austrocknung, Infektionen und Pilzen führt. Außerdem kommt es bei den Bäumen häufiger zu Windbruch und Kronenverlichtungen¹³.

Der Rückgang der Artenvielfalt

Bei einer Stickstoff-Überdüngung gelangt zu viel Nitrat in den Boden, was das Gleichgewicht im Boden beeinträchtigen kann: Wichtige Bodenlebewesen, wie z.B. Regenwürmer, können im sauren Boden nicht mehr überleben.

Auch die verschiedenen Pflanzenarten unterscheiden sich nach ihrer Toleranz gegenüber dem Säuregehalt des Bodens. So kommt es, dass die Zahl der Magerrasen, Hochmoore und Heiden abnimmt, denn diese Pflanzengemeinschaften sind auf weniger saure Böden eingestellt. Durch ein plötzliches Nährstoffüberangebot siedeln sich stickstoffliebende Pflanzen an und verdrängen sie. Mit ihnen verschwinden auch viele Tierarten. Der Eintrag von Stickstoffverbindungen in die Umwelt ist eine Hauptursache für den Rückgang der Artenvielfalt.

Nitrat und Phosphat lassen Gewässer kippen

Durch Regengüsse wird das Nitrat aus dem Boden ausgewaschen und gelangt in Flüsse und Seen. Zusammen mit ausreichend Phosphat bewirkt es eine Eutrophierung (eine Art Überdüngung) der Gewässer. Dank der vielen Nährstoffe können Algen und Cyanobakterien, also das Phytoplankton, sich stark vermehren. Durch ihre pure Masse können sie Wasserpflanzen nun das Sonnenlicht „stehlen“. Dazu kommt ein weiteres Problem: Auf das massenhafte Anwachsen des Phytoplanktons folgt ein massenhaftes Sterben – durch den

¹³ Umweltbundesamt (o.J.).

biologischen Abbau der Pflanzenteile sinkt schließlich der Sauerstoffgehalt im Gewässer und Fäulnisgase entstehen. Das Gewässer kippt um¹⁴.

Nitrat im Grund- und Trinkwasser

Je tiefer überschüssiges Nitrat im Boden sickert, desto weniger kann es von Pflanzen aufgenommen und in den Kreislauf zurückgeführt werden. So kann es über tiefer liegende Bodenschichten bis ins Grundwasser gelangen. Auch in Trinkwasser ist es somit vorhanden. Bei Messungen im Jahr 2008 wurde festgestellt, dass an fast 15 % der Messstellen der Nitratgrenzwert von 15 mg/l überschritten wurde. An 36 % der Messstellen wurde ein deutlich bis stark erhöhter Nitratgehalt verzeichnet.

Im schwach sauren Magensaft wird Nitrat in Nitrit (NO_2) umgewandelt. Mit Aminen, die beim Eiweißabbau entstehen, kann es dort zu Nitrosaminen reagieren. Diese gelten als krebserregend. Im Vergleich zu anderen Lebensmitteln ist das Trinkwasser jedoch eine sehr geringe Nitratquelle und kann daher als nicht gesundheitsgefährdend betrachtet werden¹⁵.

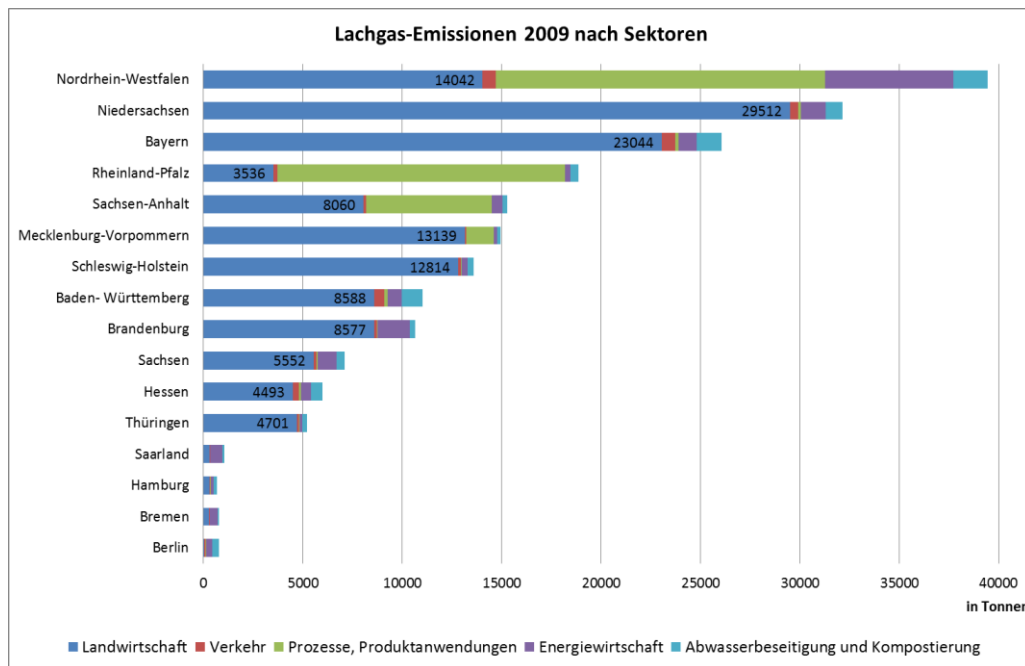
Lachgas heizt das Klima an

Wenn Stickstoffverbindungen aus dem Boden austreten, hat dies auch einen Effekt auf das Klima. Mit etwa zwei Dritteln der ausgestoßenen Gesamtmenge ist die Landwirtschaft durch den erhöhten Einsatz von Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen die Hauptemissionsquelle von Lachgas (N_2O). Verstärkend wirkt hierbei der zunehmende Anbau von düngemittelintensiven Raps- und Maiskulturen zur Herstellung von Biodiesel oder Bioethanol. Lachgas ist ein Nebenprodukt, das bei der Nitrifizierung und Denitrifikation von Stickstoffverbindungen im Boden entsteht. Umgerechnet in CO_2 -Äquivalente beträgt der Anteil des Lachgases an den Gesamtemissionen in Deutschland etwa sechs Prozent. Bezogen auf den Treibhauseffekt ist Lachgas 298-mal wirksamer als CO_2 ¹⁶.

¹⁴ Umweltbundesamt (o.J.).

¹⁵ Umweltbundesamt (o.J.).

¹⁶ Umweltbundesamt (o.J.).



Eigene Abbildung nach den Daten von Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder (2012)

Düngen nach Gutdünken – warum düngen wir zu viel?

Optimales Düngen ist nicht einfach. Der richtige Zeitpunkt, die passende Dosierung, die Bodenbeschaffenheit und der pH-Wert des Bodens sind zu berücksichtigen. Außerdem hat der Verlauf des Pflanzenwachstums großen Einfluss auf die Düngeraufnahme der Pflanze. Diesen Verlauf vorherzusagen ist jedoch schwierig. Er hängt von schlecht absehbaren Faktoren wie der Witterung und der Gesundheit der Pflanze ab¹⁷.

- Der richtige Zeitpunkt: Der Zeitpunkt der Düngung muss an den Verlauf des Pflanzenwachstums angepasst werden. In der Hauptwachstumsphase benötigen Pflanzen den meisten Dünger. Wurde zu früh gedüngt, ist ein Großteil der Nährstoffe bereits versickert, ausgeschwemmt oder ausgegast, bevor die Pflanzen sie aufnehmen können¹⁸.
- Die richtige Dosierung: Auch die Menge des Düngers muss an das Pflanzenwachstum angepasst werden. Oftmals ist die Voraussage des Wachstums jedoch schwierig, da es von weiteren Faktoren, wie zum Beispiel der Witterung, beeinflusst wird¹⁹.
- Bodenbeschaffenheit: Ein sandiger Boden ist beispielsweise durchlässiger als ein Tonboden. Durch die hohe Korngröße kann Wasser im Sandboden leichter versickern. Die im Wasser gelösten Nährstoffe werden ausgespült und sind für die Pflanzen nicht mehr verfügbar²⁰.

¹⁷ Campbell (1997).

¹⁸ Müller (o.J.).

¹⁹ Müller (o.J.).

²⁰ Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz BW (o.J.).

- pH-Wert: Die Löslichkeit der Nährstoffe variiert je nach Boden-pH-Wert. Je mehr Nährstoffe gelöst sind, desto besser können sie von den Pflanzen aufgenommen werden. Eine Pflanze kann also trotz eines hohen Nitratgehalts im Boden einen Stickstoffmangel aufweisen, weil sie den Stickstoff nicht aufnehmen kann. Ein Landwirt muss den pH-Wert des Bodens bei der Düngung unbedingt beachten²¹.
- Bildung: Die obigen Faktoren richtig zu werten und in die Düngung mit einzubeziehen, setzt Erfahrung und Kenntnisse über ihre Zusammenhänge voraus. Mangelnde Information und Fachkenntnis der Landwirte ist also ein weiterer Grund für Überdüngung.

Gezielt düngen – aber wie?

Die zunehmenden negativen Folgen der Überdüngung können nur durch einen sparsameren Einsatz von Nitratdünger in der Landwirtschaft aufgehalten werden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, mit dieser Herausforderung umzugehen:

- Bildung: Eine Lösung gegen den falschen Einsatz von Düngemitteln und die daraus folgenden Umweltschäden ist Bildung. Landwirte müssen überall auf der Welt gezielt darin geschult werden, wie sie ihren Boden möglichst ertragreich *und* nachhaltig bewirtschaften können.
- Höhere Wertschätzung von Lebensmitteln: Möglichst alle Lebensmittel, die produziert werden, sollten auch tatsächlich verzehrt werden. Derzeit ist Deutschland weit davon entfernt: Laut einer Hochrechnung der Universität Stuttgart landen hier pro Jahr 11 Mio. Tonnen Lebensmittel im Abfall. Auf die privaten Haushalte entfallen ganze 61 % aller Lebensmittelabfälle. Rund 47 % aller Lebensmittelabfälle wären nach der Studie der Universität Stuttgart²² vermeidbar.
Gentechnik: Durch gezielte genetische Veränderung können Pflanzen mit Herbizid-Toleranzen sowie Insekten-, Viren- und Pilz-Resistenzen ausgestattet werden. Die Pflanze soll durch die genetische Veränderung besser an ihre Umwelt angepasst werden, um den Ernteausfall gering zu halten und das Pflanzenwachstum zu optimieren. Somit sollen weniger Fläche und Dünger verbraucht werden. Aufgrund der diskutierten Risiken der Gentechnik sind die möglichen Potentiale dieses Lösungsansatzes noch nicht abzusehen²³.
- Ökolandbau: Durch die nachhaltigere Bewirtschaftung der Böden kann der Ökolandbau eine Lösung gegen die Überdüngung und ihre Folgen sein.

²¹ Campbell (1997)

²² Kranert (2012).

²³ Saedler (o.J.).

Quellen

Literatur:

□ **Campbell, Neil A. (1997):** Biologie. Spektrum Verlag, 1. Auflage, Heidelberg, Berlin.

Diamond, Jared (2005): Kollaps. Warum Gesellschaften überleben oder untergehen. Frankfurt a.M.: Fischer.

□ **Montgomery, David R. (2010):** Dreck – warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert. München: Oekom.

□ **Riedel E., Janiak K. (2007):** Anorganische Chemie. 7. Auflage, Berlin.

World Wide Web:

□ **Information und Technik Nordrhein-Westfalen: Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder (2012),** abgerufen unter <http://www.ugrdl.de/tab311.htm>

□ **Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz BW (o.J.):** Bodenarten. Abgerufen am 20.02.2013 unter: https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1311159_I1/Schmidt_Poster%20A0%20Bodenarten%201.pdf

□ **Müller I. (o.J.) :** Stickstoffverbindungen und Landwirtschaft. Landesumwelt Nordrhein-Westfalen. Als PDF-Datei abgerufen am 24.02.2013 unter: <http://www.lanuv.nrw.de/landwirtschaft/nitrat/Stickstoff.pdf>

□ **Saedler, Heinz (o.J.):** Gentechnik in der Pflanzenzüchtung - was ist heute machbar? Abgerufen am 27.02.2013 unter: http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d01_2/hsaedl01.htm

□ Umweltbundesamt (Hrsg) (o.J.): **Stickstoff – zu viel des Guten?** Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren. Abgerufen am 24.02.2013 unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4058.pdf>

□ **Universität Graz** (Sommersemester 2005): Bioanorganische Chemie Kapitel 7: Der Stickstoffkreislauf S.57-65). Als PDF-Datei <http://www.uni-graz.at/~kleinaxe/BICKap7.pdf>

□ **Kranert, M. (2012)**: Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland . Abgerufen am 20.02.2013 unter:
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/WvL/Studie_Lebensmittelabfaelle_Kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile