

Die Erde, die uns ernährt – Der Boden als Agrarstandort

1	Vom „Jäger und Sammler“ zum modernen Landwirt	250
2	Ohne Nährstoffe keine Bodenfruchtbarkeit	251
3	Im Kreislauf – Das Nährelement Stickstoff	259
4	Landwirtschaftliche Bodennutzung und ihre Auswirkungen	260
	4.1 Bodenbearbeitung – warum?	260
	4.2 Bodenverdichtung	261
	4.3 Bodenerosion	264
	4.4 Erosionsgefährdung durch Wasser in Bayern	267
5	Boden- und umweltschonender Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	269
6	Ökologischer Landbau	269





Die Erde, die uns ernährt – Der Boden als Agrarstandort

Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert und dem Strukturwandel in der Landwirtschaft seit 1950 hat sich die ackerbauliche Nutzung und Bearbeitung unserer Böden gegenüber früheren Zeiten grundlegend verändert. Es ließen sich hohe Ertragssteigerungen erzielen, die mit der Grundlage einer sicheren Ernährung bilden. Doch wuchsen mit den Möglichkeiten einer veränderten Landwirtschaft auch die Gefahren für den Boden. Landwirtschaft betreiben heißt daher heute auch, besondere Verantwortung für den Schutz des Bodens und die Erhaltung seiner Fruchtbarkeit zu übernehmen.

1 Vom „Jäger und Sammler“ zum modernen Landwirt

Beitrag DVD



E1 | Landwirtschaft früher.

In vorgeschichtlicher Zeit lebte der Mensch als Jäger und Sammler im Einklang mit der Natur. Er war an die natürlichen Ökosysteme angepasst und ernährte sich ausschließlich von dem, was ihm in seiner näheren Umgebung an Pflanzen und deren Früchten, Pilzen und Wildtieren zur Verfügung stand. Relativ schnell dürfte der frühe Mensch gelernt haben, dass sich durch Auslesezüchtung von Pflanzen Erträge steigern ließen. So wurden die ersten Nutzpflanzen wohl in gartenähnlicher Kultur um seine Wohnstätten angebaut. In diese Phase fällt auch der Beginn der gezielten Bodenbearbeitung: das Herrichten eines krümeligen Saatbeetes, das Auflockern der oberen Bodenschicht nach Regenfällen und das Entfernen von Fremdwuchs mit einfachsten Geräten.

In der Jungsteinzeit (vor ca. 6000 – 8000 Jahren) ging der Gartenbau in einen Ackerbau über, der sich bis zur Bronzezeit (vor ca.

3000 – 5000 Jahren) zu einer unregelmäßigen Brand- und Feldgras-Bestellung auf bereits großen Ackerfluren entwickelte. Erst mit Beginn des Mittelalters, ab etwa 900 n. Chr. kam es in Mitteleuropa infolge mehrerer großer Rodungsphasen zu einer deutlichen Reduzierung der ursprünglich flächigen Waldbedeckung und zur Ausbildung einer offenen Kulturlandschaft. Zunächst wurden die besonders fruchtbaren Lösslehm-Gebiete gerodet, später auch höher gelegene Regionen mit weniger fruchtbaren Böden (► Schüleraktivität E10). Der bei fortwährender ackerbaulicher Nutzung nachlassenden Bodenfruchtbarkeit und den damit sinkenden Ernteerträgen begegnete man zunächst mit weiteren Rodungen. Zur Bodenverbesserung standen lediglich tierische Exkrememente zur Verfügung, deren düngende Eigenschaft (Dung!) schon lange bekannt war. Aufgrund der geringen Ernteerträge fehlte die Futtergrundlage für eine intensive Viehhaltung, so

dass wiederum die anfallende Menge an natürlichem Dünger gering blieb. Eine enge Bindung von Anbau, Viehhaltung und Düngerezeugung (Kreislaufwirtschaft) sowie eine standortangepasste Nutzung der Böden waren somit Kennzeichen dieser frühen Landwirtschaft.

Mit dem Beginn der Industrialisierung um 1850 und den nun gegebenen technischen Möglichkeiten wurden die landwirtschaftlichen Flächen ausgeweitet und bis dahin unrentable Standorte durch den Einsatz von Mineraldüngern oder den Anbau neu gezüchteter Sorten nutzbar gemacht. Diese Phase der Intensivierung der Landwirtschaft ging mit der Aufgabe vieler traditioneller, meist extensiver Bodennutzungsformen und der mittelalterlichen Kreislaufwirtschaft einher. Bereits um 1930, einschneidend jedoch erst in der Nachkriegszeit vollzieht sich unter starkem wirtschaftlichen Druck ein Umbruch in der Landwirtschaft. Unter zunehmender Spezialisierung und mit konsequentem Einsatz aller technischen Möglichkeiten wandeln sich viele bis dahin traditionell geführte landwirtschaftliche Betriebe hin zu größeren und leistungsfähigeren Unternehmen. Die mit der Intensivierung der Bodenbearbeitung verbundenen Auswirkungen auf die Böden und damit auch auf die Ernährungsgrundlage und letztlich auf die Lebensumwelt des Menschen blieben dabei weitgehend unbeachtet. Spä-

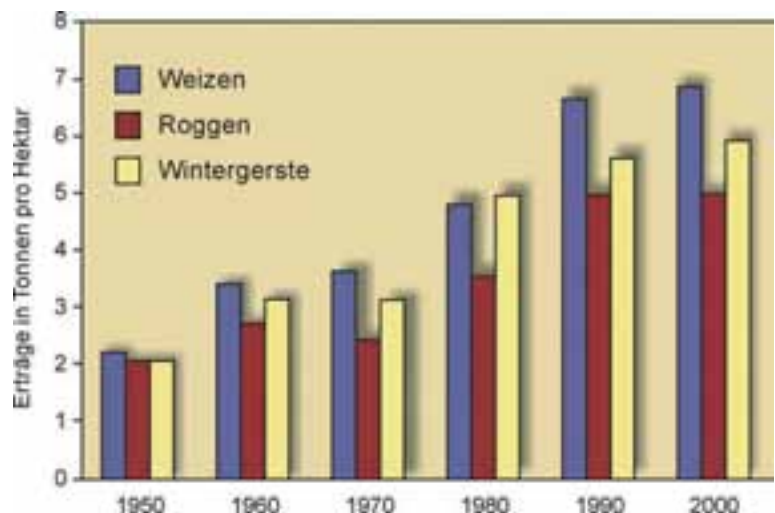


testens in den Jahren nach 1980 ergaben sich mit dem steigenden Umweltbewusstsein innerhalb breiter Bevölkerungsschichten und dem damit einhergehenden Wertewandel auch neuerliche Um- und Neuorientierungen in der Landwirtschaft. Diese bilden eine wesentliche Grundlage zur Erhaltung und zum Schutz unserer wertvollen Agrarböden.

E2 | Etwa 50 % der Landesfläche Bayerns und damit rund die Hälfte unserer Böden werden landwirtschaftlich genutzt.

2 Ohne Nährstoffe keine Bodenfruchtbarkeit

In einem natürlichen Ökosystem, z. B. einem naturbelassenen Wald, zirkulieren die Nährstoffe in einem Kreislauf (► Modul C Waldböden): Die Pflanzen nehmen die für ihr Wachstum notwendigen Nährstoffe über die Wurzeln auf, bauen sie in ihre Biomoleküle ein und geben sie bei ihrer Verrottung während des mikrobiellen Abbaus durch Bakterien und Pilze wieder an den Boden zurück. Pflanzenfresser sind durch ihre Ausscheidungen und durch ihr Ableben in den Kreislauf integriert. Der landwirtschaftliche Pflanzenanbau entzieht diesem natürlichen Stoffkreislauf bzw. dem Boden durch die Ernte dagegen große Mengen an Nährstoffen. So beträgt derzeit die durchschnittliche Abfuhr an den drei wich-



E3 | Wachsende Ernteerträge in Bayern zwischen 1950 und 2000. **GD**



E4 | Mangelerscheinungen an Kulturpflanzen durch fehlende Nährstoffe im Boden: Magnesium, Kalium, Schwefel, Phosphat, Zink.

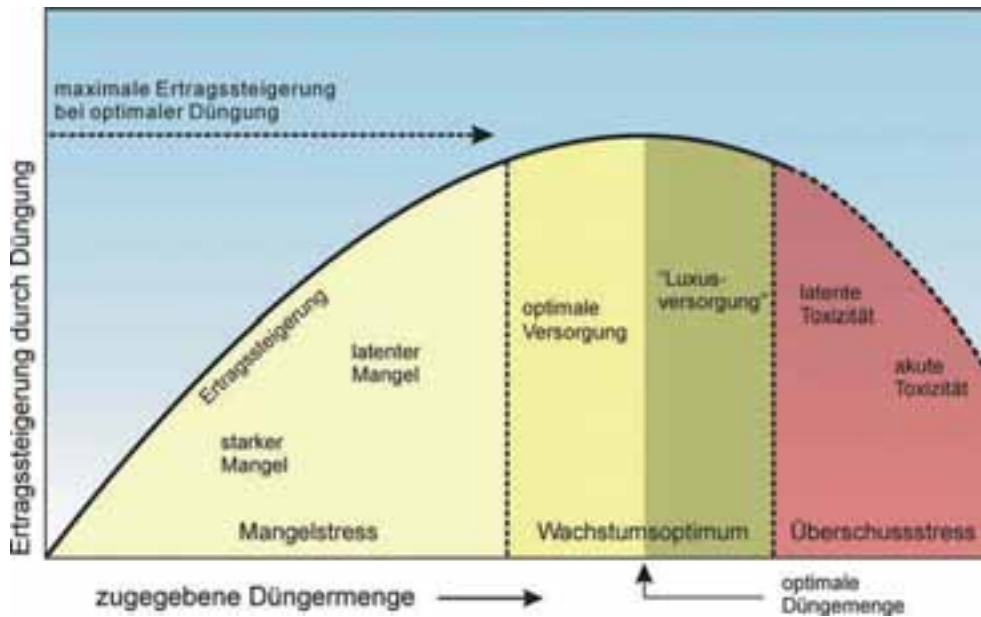
tigsten Hauptnährstoffen pro Hektar und Jahr in Bayern über Acker- und Grünland etwa 128 kg Stickstoff (N), 124 kg Kalium (K_2O) und 55 kg Phosphat (P_2O_5). Diese Mengen müssen durch den Landwirt mit Hilfe von organischen und mineralischen Düngemitteln bedarfs- und zeitgerecht ergänzt werden, da sonst die Böden nach wenigen Jahren an Fruchtbarkeit verlieren und die Pflanzen zudem anfälliger für Erkrankungen werden würden. Ein übertriebener Einsatz von Düngern (Überdüngung) kann jedoch zu Schädigungen an Pflanzen (Krankheitsbefall, Qualitätsmängel), Boden (insbesondere Beeinträchtigung des Bodenlebens) und über ihren Austrag in nahe gelegene Gewässer oder das Grundwasser zu deren Belastung führen (→ E9). Zur Erhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens mit einer ökologisch und ökonomisch ausgewogenen Düngung ist daher eine genaue Kenntnis der Nährstoffversorgung des Bodens unabdingbar. Aufbauend auf regelmäßigen Bodenuntersuchungen erstellt der Landwirt mit diesem Wis-

sen Düngepläne, die auf den jeweiligen Boden und die Fruchtfolge abgestimmt sind. Von Seiten des Gesetzgebers regelt die sogenannte Düngeverordnung aus dem Jahr 2006 wesentliche Aspekte der Düngung im Rahmen der → guten fachlichen Praxis (→ Exkurs Düngerverordnung).

Die für das Pflanzenwachstum wichtigsten Nährstoffe sind Stickstoff, Kalium, Phosphor, Schwefel und Magnesium, die in den Böden in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen. Neben diesen → Hauptnährstoffen brauchen Pflanzen zusätzlich kleinste Mengen an Spurenelementen, zu denen Mangan, Zink, Kupfer und Bor gehören. Für ein gesundes Wachstum einer Pflanze müssen alle Nährstoffe in einer ausreichenden Konzentration im Boden verfügbar sein. Ist dies nicht der Fall, führt die Unterversorgung mit auch nur einem einzigen Nährstoff zu sinkenden Erträgen und möglicherweise zu Qualitätsverlusten, die sich in charakteristischen

Nährelement	Bedeutung	Mangelerscheinung
Calcium (Ca)	Baustoff, Regulation des Wasserhaushaltes	Wachstumshemmung
Kalium (K)	Regulation des Wasserhaushaltes	Blätter welken
Magnesium (Mg)	Bildung von Blattgrün (Chlorophyll)	Punktuell Ausbleichen der Blätter, Wachstumshemmung
Eisen (Fe)	Bildung von Blattgrün und Enzymen	Wachstumshemmung
Stickstoff (N)	Aufbau von Eiweißen	Wachstumshemmung, helle Blätter
Phosphor (P)	Aufbau von Substanzen des Zellkerns	Wachstumshemmung
Schwefel (S)	Aufbau von Eiweißen und Vitaminen	Wachstumshemmung, helle Blätter

Tabelle E1 | Mangelerscheinungen bei Pflanzen.



E5 | Mehrertrag an Pflanzenmasse durch Düngung (Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs). Überschreitet die Konzentration der Makronährstoffe einen bestimmten Schwellenwert, können Ertragsminderungen auftreten. **CD**

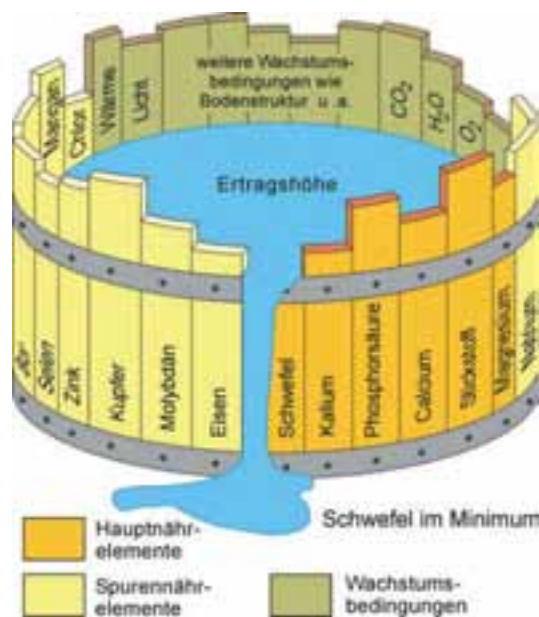
Mangelercheinungen äußern können. Dazu gehört etwa die Verfärbung der Blätter (z. B. gelbliche Blattfärbung der Kartoffelpflanze durch Stickstoffmangel oder rötliche Verfärbung bei Mais durch Phosphorunterversorgung). Die Begrenzung der Bodenfruchtbarkeit durch den Nährstoff mit dem geringsten Anteil bildet die Grundlage für das sogenannte Minimumgesetz, das von dem deutschen Chemiker Justus von Liebig (1803 – 1873) aufgestellt worden ist (➔ E6). Er gilt seither als der „Vater“ der Nährstoffergänzung durch die mineralische Düngung (▶ Schüleraktivität E9).

Nach dem Minimumgesetz von Liebig nimmt der landwirtschaftliche Ertrag proportional mit den Wirkungsfaktoren Licht, Temperatur, Wasser, Bodenleben und Nährstoffe zu. Allerdings zeigt sich, dass mit dem zunehmenden Düngereinsatz der Ertragszuwachs nach Überschreiten eines Optimums wieder abnimmt (➔ E5), da mit der Düngung auch die anderen Wirkungsfaktoren beeinflusst werden. Eine wesentlich über das Wachstumsoptimum hinausgehende Düngung mit bestimmten Nährstoffen kann in seltenen Fällen bei den Pflanzen sogar zur akuten Vergiftung (Toxizität) führen.

Organische Dünger bestehen z. B. aus tieri-

schen Exkrementen, Zwischenfruchtanbau, Kompost oder Klärschlamm. Fachgerecht angewandt tragen sie nicht nur erheblich zur Nährstoffversorgung des Bodens, sondern auch zur Verbesserung und Stabilisierung seiner Bodenstruktur bei. So wirkt ein → krümeliges Bodengefüge positiv auf das Wasserspeichervermögen und damit der Bodenaustrocknung und der Bodenerosion entgegen.

E6 | Minimumgesetz: Der kleinste Wirkungsfaktor begrenzt den Ertrag. **CD**



Die wichtigsten Bestimmungen der Düngeverordnung

Auszüge aus der Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzen nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV)

(Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil I Nr. 2, ausgegeben zu Bonn am 13. Januar 2006, S. 34 ff.)

§ 3 Grundsätze für die Anwendung

(1) Vor der Aufbringung von wesentlichen Nährstoffmengen an Stickstoff oder Phosphat mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln ist der Düngebedarf der Kultur sachgerecht festzustellen. Erfordernisse für die Erhaltung der standortbezogenen Bodenfruchtbarkeit sind zusätzlich zu berücksichtigen. Die Düngebedarfsermittlung muss so erfolgen, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung gewährleistet ist.

(3) Vor dem Aufbringen wesentlicher Nährstoffmengen sind die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen vom Betrieb zu ermitteln.

(4) Aufbringungszeitpunkt und -menge sind bei Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln so zu wählen, dass verfügbare oder verfügbar werdende Nährstoffe den Pflanzen weitestmöglich zeitgerecht in einer dem Nährstoffbedarf der Pflanzen entsprechenden Menge zur Verfügung stehen.

(5) Das Aufbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln mit wesentlichen Nährstoffgehalten an Stickstoff oder Phosphat darf nicht erfolgen, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder durchgängig höher als fünf Zentimeter mit Schnee bedeckt ist. [...]

(6) Beim Aufbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln mit wesentlichen Nährstoffgehalten an Stickstoff oder Phosphat ist

1. ein direkter Eintrag von Nährstoffen in oberirdische Gewässer durch Einhaltung eines Abstands zu vermeiden,
2. dafür zu sorgen, dass kein Abschwemmen in oberirdische Gewässer erfolgt.

§ 4 Zusätzliche Vorgaben für die Anwendung von bestimmten Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln

(2) Wer Gülle, Jauche, sonstige flüssige organische oder organisch-mineralische Düngemittel mit wesentlichen Gehalten an verfügbarem Stickstoff oder Geflügelkot auf unbestelltes Ackerland aufbringt, hat diese unverzüglich einzuarbeiten.

(4) Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff, ausgenommen Festmist ohne Geflügelkot, dürfen zu den nachfolgend genannten Zeiten nicht aufgebracht werden:

1. auf Ackerland vom 1. November bis 31. Januar,
2. auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar.

Die nach Landesrecht zuständige Stelle kann für die zeitliche Begrenzung nach Satz 1 andere Zeiten genehmigen.

CD | Vollständiger Verordnungstext auf ► CD.

E7 | Zuviel Gülle lässt die Nitratwerte im Boden steigen.



Nitrat im Trinkwasser und der Nahrung

Das für das Pflanzenwachstum wichtige Nährelement Stickstoff gelangt über Mineraldünger und organische Dünger wie Gülle oder Jauche in den Boden. Gülle, ein Flüssiggemisch aus Harn und Kot, enthält im Harn den Stickstoff fast ausschließlich in Form von Ammonium (NH_4^+), das im Boden über Mikroorganismen in Nitrat umgewandelt wird. Gelangt überschüssiges, nicht von den Pflanzen aufgenommenes Nitrat in das Grund- und Trinkwasser, kann davon eine Gefahr für die menschliche Gesundheit ausgehen, da es im Magen zu krebserregenden Nitrosaminen oder im Darm zu Nitrit umgewandelt werden kann. Bei Säuglingen verursacht Nitrit die tödliche Blausucht. Dabei oxidiert das Nitrit den roten Blutfarbstoff, das Hämoglobin. Es entsteht Methämoglobin, an das der Sauerstoff nicht mehr angelagert und zu anderen Organen und Körperteilen transportiert wird.

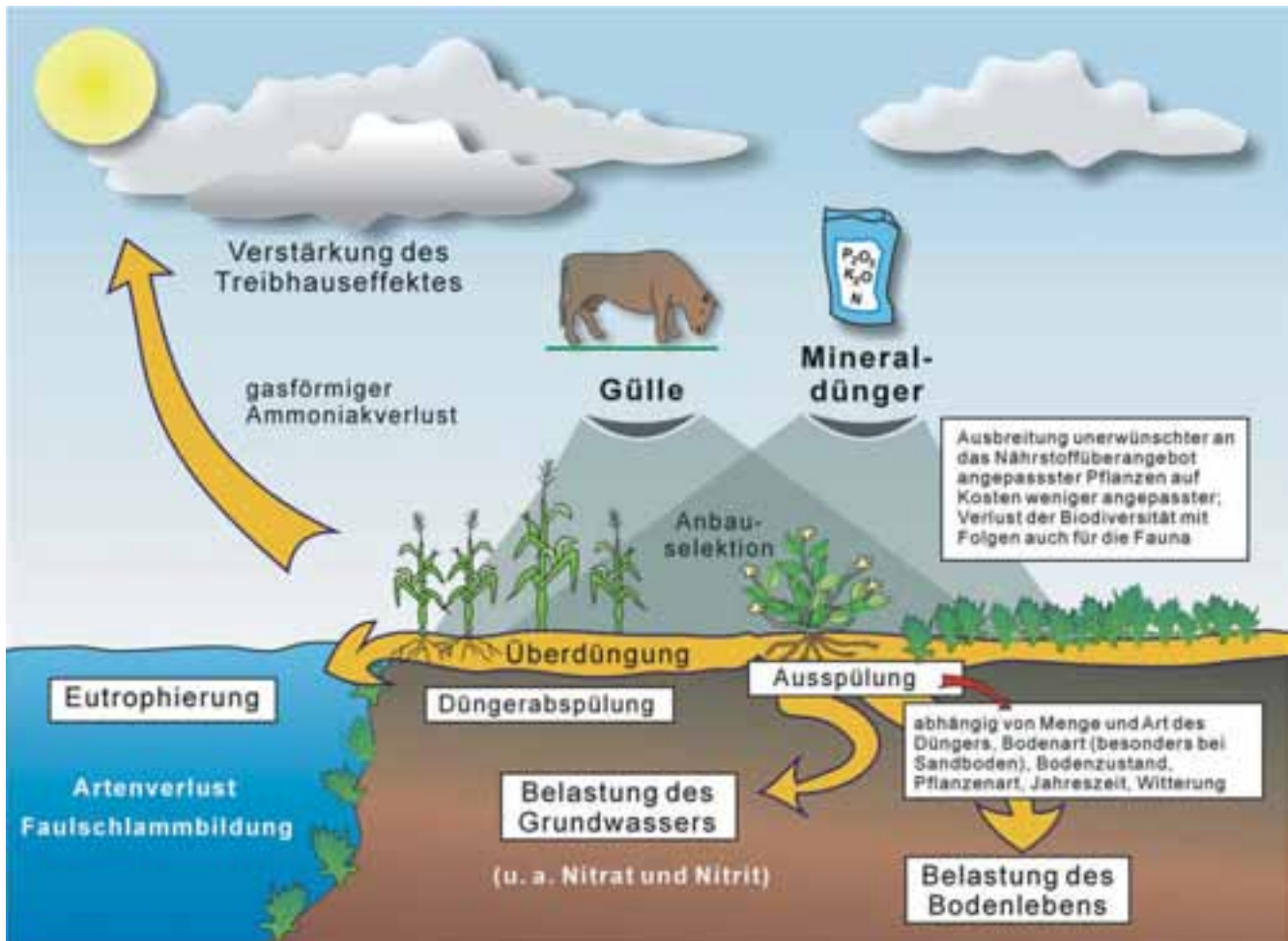
Bei hohen Nitrataufnahmen und/oder mangelnder Belichtung der Pflanzen wird Nitrat nicht zu unschädlichen Stickstoffverbindungen abgebaut. Es kann sich daher auch in der Pflanze in gesundheitsbeeinträchtigenden Konzentrationen anreichern (besonders in Spinat, Kopfsalat und Grünkohl, in geringe-

rem Maße auch in Kohlrabi, Tomaten und Möhren). Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) soll die tägliche Nitrataufnahme 3,65 mg pro Kilogramm Körpergewicht durch Lebensmittel und Trinkwasser nicht übersteigen. In Deutschland gilt seit Inkrafttreten der „Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe“ (Trinkwasser-Verordnung) vom 1. Oktober 1986 (mit Änderungen vom Februar 1993) ein zulässiger Höchstwert von 50 mg Nitrat pro Liter Trinkwasser.

Organisch gebundener Stickstoff wird durch die Mikroorganismen in pflanzenverfügbares Ammonium und Nitrat überführt. Bei wassergesättigtem Boden und fehlendem Pflanzenwachstum kann das im Boden vorhandene Nitrat in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser verlagert werden. Eine verantwortungsvolle Düngung insbesondere mit Gülle muss demnach nach Zeitpunkt und Menge auf das Pflanzenwachstum abgestimmt werden. Die Düngeverordnung (► Exkurs) trägt diesem Aspekt Rechnung und regelt das Ausbringen unter anderem von Stickstoffdüngern im Rahmen der → guten fachlichen Praxis.

E8 | Wasser hat Vorfahrt – nicht nur in ausgewiesenen Schutzgebieten.





E9 | Folgen zu hohen Einsatzes von Dünger (Überdüngung). CD

Der Einsatz organischer Dünger hat sich seit dem Jahr 1950 mehr als verdoppelt, was unter anderem Folge eines gestiegenen Vieh-

Stroh, das bei der Tierhaltung mit Güllewirtschaft nicht im Stall eingestreut wird, verbleibt von vornherein auf dem Feld und kann dort unter anderem auch der Bodenerosion entgegenwirken.

Düngemittel	1950/1951	2000/2001	Spitzenwert
Stickstoff (N)	15	86	120 (1980/81)
Kalk (CaO)	38	112	136 (1988/89)
Phosphat (P_2O_5)	21	23	79 (1980/81)
Kalium (K_2O)	30	30	101 (1980/81)

Tabelle E2 | Aufwandsmengen (in Bayern) an Stickstoff, Kalk (Calcium), Phosphat und Kalium für die Jahre 1950/51 und 2000/01 sowie Spitzenwerte (in kg/ha).

bestandes ist. Anstelle des traditionellen Düngereinsatzes von gut verrottbarem Festmist (Kot) mit hohem, für die Humusbildung wichtigem Strohanteil, fällt bei einer modernen Stallhaltung überwiegend unvergorene Gülle (= Mischung aus Kot und Harn) an. Wegen der im Vergleich zum Festmist höheren Löslichkeit der darin enthaltenen Nährstoffe kann mit dieser Gülle gezielter gedüngt werden. Das für den Humusaufbau wichtige



E10 | Zur „guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft gehört der verantwortungsvolle und fachkundige Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln.

Ertragssteigerung durch Polyploidisierung

In den letzten 50 Jahren haben sich die Erträge in der Landwirtschaft deutlich erhöht. Dies ist unter anderem dem vermehrten Einsatz von Mineraldüngern zuzuschreiben. Eine Steigerung der Produktivität ist aber auch auf die Pflanzenzüchtung zurückzuführen. Die meisten Lebewesen besitzen, wie der Mensch, einen Chromosomensatz von männlicher und einen Chromosomensatz von weiblicher Seite. Man spricht vom doppelten Chromosomensatz (abgekürzt: 2 n). Ein Vorläufer der heutigen Getreidearten, das Wildeinkorn, besitzt einen solchen doppelten Chromosomensatz. Beim Kulturemmer hat sich der Chromosomensatz bereits vervierfacht (4 n), den Saatweizen hat man bis zu einem sechsfachen Chromosomensatz (6 n) gezüchtet, bei Dahlien hat man sogar einen achtfachen Chromosomensatz (8 n) nachgewiesen. Durch diese so genannte Polyploidisierung erhalten die

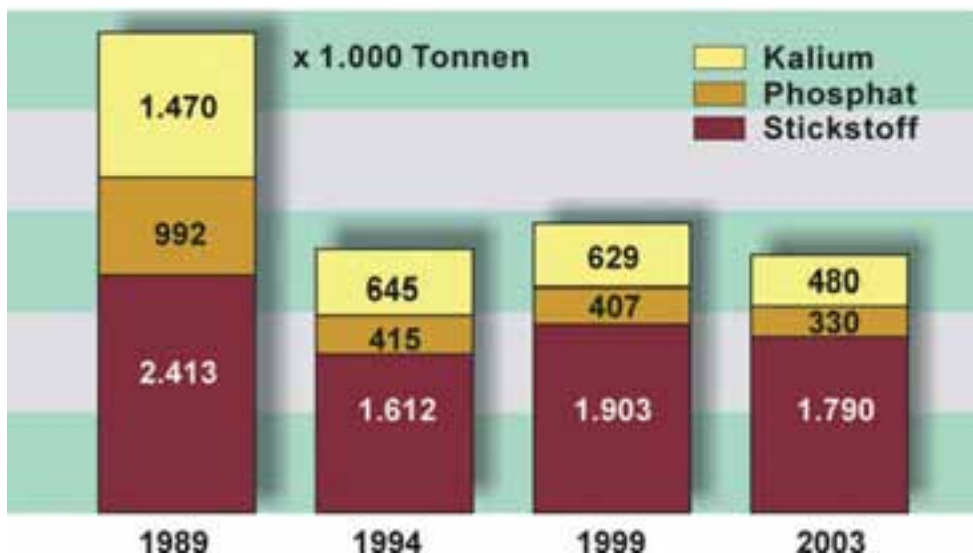
Pflanzen mehr Erbmaterial (DNS). Da die DNS die Stoffwechselfvorgänge in der Zelle steuert, kann mehr Erbmaterial die biochemischen Vorgänge auch rascher ablaufen lassen, d. h., die Pflanzen sind produktiver. Durch ihre hohe Produktivität entziehen derartige Feldfrüchte dem Boden allerdings auch größere Mengen an Nährstoffen.

Die Tendenz zur Polyploidisierung findet man auch in der Natur. Solche Pflanzen kommen während relativ kurzer Vegetationsperioden in kälteren Regionen rasch zur Fruchtbildung. So sind in Mitteleuropa etwa 50 % aller Wildpflanzen polyploid, auf Island sind dies 66 %, auf Spitzbergen sogar 76 %. In tropischen Regionen ist Polyploidie dagegen sehr selten. Ein ganzjähriges Wachstum macht dies überflüssig. Ein knappes Nährstoffangebot aus dem Boden begrenzt das Wachstum, Polyploidie wäre eher nachteilig.

Exkurs

Während die organische Düngung schon sehr lange zur Qualitätsverbesserung der Böden eingesetzt wird, sind Mineraldünger („Handelsdünger“) erst seit gut 100 Jahren bekannt. Sie bestehen aus einzelnen oder mehreren anorganischen Verbindungen mit wechselnden Anteilen der wichtigsten Hauptnährstoffe, wobei deren Gehalt in handelsüblichen Mineraldüngern meist wesentlich

höher als in organischen Düngern ist. Damit sie von den Pflanzen gezielt aufgenommen werden können, sind Mineraldünger im Regelfall wasserlöslich. Je nach Nährstoffdynamik können überschüssige Nährstoffe im Boden verlagert werden und zu erhöhten Nährstoffgehalten im Grundwasser bis hin zu einer → Eutrophierung der Oberflächengewässer beitragen.



E11 | Der Absatz von Düngemitteln in Deutschland zwischen 1989 und 2003 (Quelle: Statistisches Bundesamt 2004).

Kalken von Böden



E12 | Besonders auf kalkfreien Ausgangsgesteinen (z. B. Graniten, Sandsteinen) ist regelmäßiges Kalken der Böden („Kalkdüngen“) notwendig, um eine für das Wachstum der Pflanzen günstige Bodenreaktion zu fördern.

Kalk ist vorrangig ein Bodendünger und erst in zweiter Linie ein Pflanzennährstoff. Auf das Pflanzenwachstum wirkt er durch eine verbesserte Nährstoffverfügbarkeit in Folge seiner Wirkung auf den pH-Wert des Bodens sowie die Beseitigung von Säureschäden (chemische Wirkung), eine verbesserte Bodenstruktur (physikalische Wirkung) und die Erhöhung der biologischen Aktivität (biologische Wirkung).

Kulturpflanzen stellen für ihr optimales Wachstum besondere Ansprüche an die Bodenreaktion bzw. den pH-Wert. Für sie günstige Bodeneigenschaften werden im mäßig sauren bis schwach basischen Bereich gefördert, wobei der anzustrebende pH-Wert insbesondere von der Bodenart und dem Humusgehalt des Bodens abhängt (↗ Tabelle E3). Um den pH-Wert des Bodens im Optimum für die Nutzpflanzen zu halten, werden landwirtschaftliche Flächen daher häufig mit Kalk (CaCO_3) gedüngt. Da dieser Kalk die Wasserstoffionen binden kann, sinkt der pH-Wert des Bodens nicht unter den Wert 7, solange freier Kalk im Boden enthalten ist. Das „Aufkalken“ der Böden hat insbesondere im Zusammenhang mit ihrer Versauerung durch den Eintrag von Luftschadstoffen zunehmende Bedeutung (▶ Modul C Waldboden). Eine Zugabe von Kalkdünger auf die landwirtschaftlichen Flächen muss allerdings kontrolliert erfolgen, da zu hohe pH-Werte ($> 7,0$) zu einer schlechteren Nährstoffverfügbarkeit führen können.

Bodenart	Humusgehalt in %		
	< 4	4,1 – 15,0	15,1 – 30,0
Sand	5,4 – 5,8	4,7 – 5,4	4,3 – 4,7
schwach lehmiger Sand	5,8 – 6,3		

Tabelle E3 | Anzustrebender pH-Wert bei ackerbaulich genutzten Böden in Abhängigkeit von Bodenart und Humusgehalt.

3 Im Kreislauf – Das Nährelement Stickstoff

Eine besondere Rolle unter den Nährstoffen der Pflanzen spielt das Element Stickstoff, das Motor des Pflanzenlebens überhaupt ist. So ist Stickstoff ein essentieller Baustein der Eiweiße (Proteine), Peptide und Aminosäuren. Über biologische und chemische Prozesse wird der Stickstoff über verschiedene Verbindungen innerhalb der Geosphäre in einem Stoffkreislauf weitergeben. In diesem fungiert der Boden als eine aktive Schaltstelle (► Schüleraktivität E11).

Der wichtigste primäre Lieferant des Stickstoffs ist die Atmosphäre, die zu 78 Vol-% aus dem gasförmigen und chemisch äußerst reaktionsträgen Element besteht. Durch Blitze oder durch Verbrennungsvorgänge entstehen bei Temperaturen von über 3000° C aus dem atmosphärischen Stickstoff (N_2) und dem Luftsauerstoff (O_2) Nitrate, die mit dem Regen in den Boden gelangen. Den größten Teil der natürlichen Umwandlung von gasförmigem Stickstoff in die für die Pflanzen verwertbaren Verbindungen Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) steuern allerdings die sogenannten Knöllchenbakterien bei, die mit Leguminosen (Schmetterlingsblütlern) in Symbiose leben (= biologische Stickstofffixierung). Den organisch gebundenen Stickstoff abgestorbener Pflanzen und Tiere wandeln Pilze und Bakterien beim Verrottungsvorgang in Ammonium um (= Stickstoff-Mineralisation oder auch Ammonifikation genannt). Dieses kann von den Pflanzen erneut aufgenommen werden oder wird mikrobiell weiter zu Nitrit und Nitrat oxidiert (= Nitrifikation). Durch den Vorgang der Denitrifikation entsteht aus Nitrat wiederum gasförmiger Stickstoff (N_2), der in die Atmosphäre entweicht (↗ E15).

Ammonium kann im Boden reversibel in den Zwischenschichträumen aufweitbarer Tonminerale gebunden werden. Hingegen ist das negativ geladene Nitratmolekül im Boden weniger stark gebunden und kann daher von den Pflanzenwurzeln besonders rasch aufgenommen werden. Die im Vergleich zu Ammonium höhere Mobilität des Nitrats kann allerdings auch zu seiner Verlagerung in tiefere Bodenschichten und weiter ins Grund-

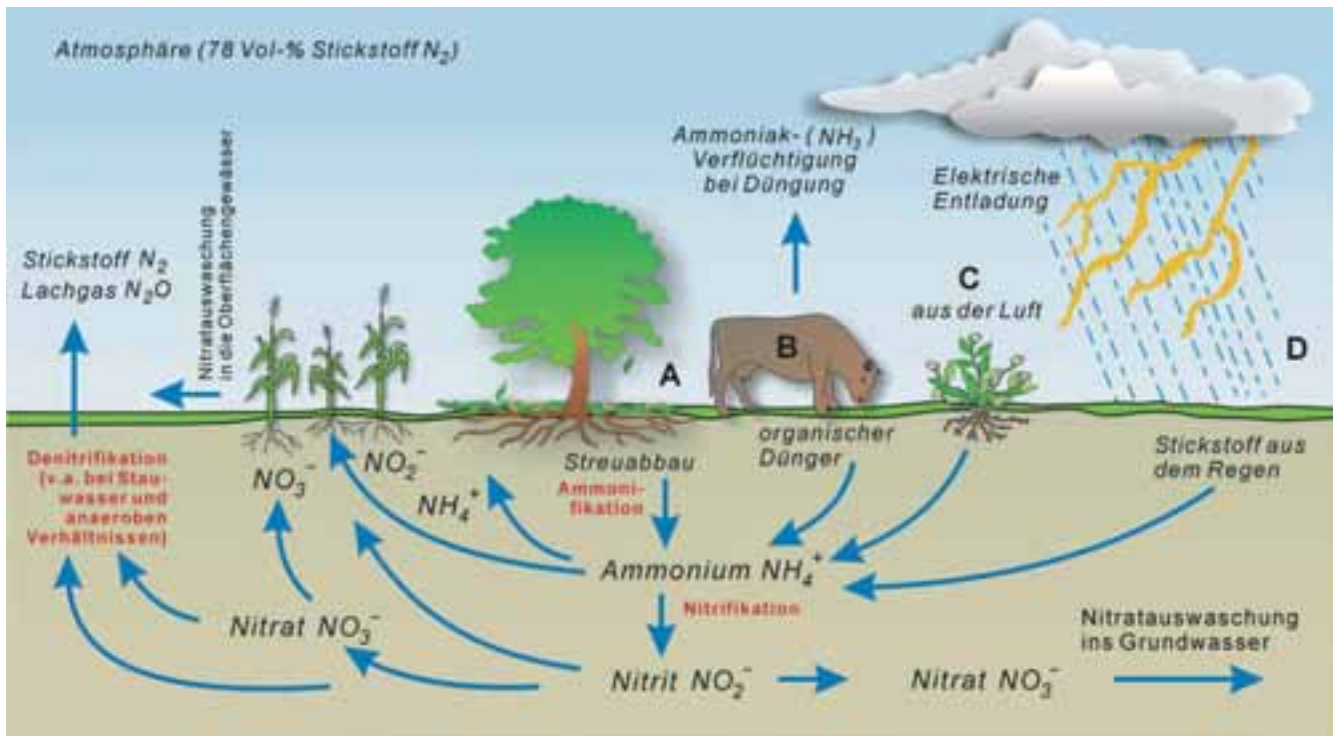


E13 | Untersuchung von Nitratpfaden in landwirtschaftlich genutzten Böden.

wasser führen. Bei Niederschlägen kann Nitrat mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden.



E14 | Ein wesentlicher Teil des durch den Menschen in die Atmosphäre eingebrachten Ammoniaks stammt aus der Tierhaltung. Um diese Emissionen bei der Gülleausbringung zu reduzieren, werden sogenannte Schleppschlauch- und Schleppschuhverteiler eingesetzt, welche die Gülle unmittelbar über der Bodenoberfläche ausbringen bzw. direkt in den Boden einbringen.



E15 | Der Rolle des Bodens im Stickstoffkreislauf. A – D: Stickstoffquellen.

In natürlichen Ökosystemen halten sich die Stickstoffverluste durch Auswaschung, Bodenerosion, Denitrifikation und ähnliche Vorgänge mit dem Stickstoffgewinn durch die pflanzliche Fixierung und die Luftdeposition die Waage. Der Eingriff des Menschen in den Stickstoffkreislauf durch den Ernteentzug erfordert die gezielte Rückführung von Nährstoffen über die Düngung. Heute werden dazu überwiegend Mineraldünger wie Ammoniumsalze (z. B. Ammoniumsulfat) oder Nitrate (z. B. Calciumnitrat) verwendet, deren Her-

stellung allerdings sehr energieaufwändig ist. Über das Ausbringen von Gülle oder Jauche erfolgt eine organische Stickstoffdüngung. Die hohe Mobilität der mit den mineralischen und organischen Düngern in den Boden eingebrachten Nitratverbindungen kann im Falle eines nicht fachgerechten Düngemitelesatzes jedoch zu deren überhöhter Konzentration in Trinkwasser und Nahrungsmitteln führen ([↗ Exkurs Nitrat in Trinkwasser und Nahrung](#)).

E16 | Unerwünschte Folge der Bodenbearbeitung: Bodenverdichtung. **Oben:** Nicht verdichteter Boden. **Unten:** Verdichteter Boden.



4 Landwirtschaftliche Bodennutzung und ihre Auswirkungen

4.1 Bodenbearbeitung – warum?

Bei der landwirtschaftlichen Nutzung der Böden ist eine regelmäßige mechanische Bearbeitung des Oberbodens, z. B. durch das Pflügen oder → Grubbern, meist unerlässlich. In erster Linie dient sie der Durchmischung (Homogenisierung) des Bodens und seiner Lockerung in Richtung eines → Krümelgefüges. Damit wird die Bodendurchlüftung, insbesondere die Versorgung der Wur-

zeln mit Sauerstoff, gefördert und mit der gleichzeitigen Unterbrechung der kapillaren Wasseraufstiegswege der Austrocknung entgegengewirkt („Lieber dreimal gehackt, als einmal gegossen“, Gärtnerweisheit). Mit dem Wenden und Durchmischen des Bodens werden sowohl Erntereste (Stroh, Blätter) als auch aufgebrachter Kompost oder Festmist in den Oberboden eingearbeitet. Die damit geförderte Verrottung der organischen Substanzen trägt wesentlich zur Humusbildung

und damit zur Nährstoffversorgung des Bodens und zur Stabilisierung des Bodengefüges bei. Mit der mechanischen Bearbeitung wird gleichzeitig auch unerwünschter Pflanzenwuchs („Unkraut“) bekämpft. Während das regelmäßige Pflügen nur der Bearbeitung des Oberbodens bis in eine Tiefe von 20 bis 30 cm dient, wird mit dem Tiefpflügen (Rigolen) auch der Unterboden gelockert.

Die Bodenbearbeitung bedingt durch ihren Eingriff in das natürliche Bodenökosystem auch nicht erwünschte Folgen. So beeinträchtigt sowohl das Lockern und Wenden der oberen Bodenschichten als auch die durch den Einsatz schwerer Maschinen verursachte Verdichtung des Unterbodens die Aktivität der Bodenlebewesen, insbesondere der Regenwürmer (► Modul B Bodenleben, ↗ Kapitel 4.2). Eine Bodenbearbeitung in Hanglage begünstigt die Verlagerung des Bodens (↗ Kapitel 4.3).

4.2 Bodenverdichtung

Der Einsatz schwerer landwirtschaftlicher Maschinen ist besonders bei nasser Witterung mit der Gefahr einer dauerhaften Verdichtung des Bodens verbunden. Durch die



E17 | Unterhalb des vom Pflug durchmischten Bereichs bleibt der Boden verdichtet; es entsteht die ausgeprägte Pflugschle.



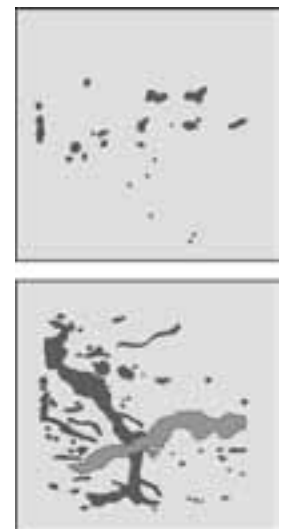
Belastung wird der Anteil der für den Wasserdurchfluss und die Luftzirkulation wichtigen Grobporen im Boden reduziert. Als Folge der dadurch bedingten mangelnden Durchlüftung nimmt die Versorgung des Bodenlebens mit Sauerstoff ab und die biologische Aktivität verkümmert. Die Verdichtung des Bodens führt weiterhin dazu, dass die Pflanzen nicht mehr ausreichend mit Wasser und den darin gelösten Nährstoffen versorgt werden. Auch die Versorgung aus tieferen Bodenschichten ist eingeschränkt, weil die Pflanzenwurzeln nicht mehr in tiefere Schichten vordringen können.

Zur Bodenverdichtung kommt es, wenn der Untergrund beim Befahren über seine Eigenstabilität hinaus belastet wird. Indem sich Bodenpartikel und Bodenaggregate gegeneinander verschieben, schaffen sie einen Ausgleich zu dem auf den Boden einwirkenden Druck. Zunehmender Wassergehalt in den Bodenporen fördert das Verschieben der Bodenpartikel, da das Wasser als Gleitfilm wirkt. Daher sind nasse und feuchte Böden wesentlich verdichtungsanfälliger als trockene Böden.

Das Wenden und Lockern des Oberbodens durch das Pflügen arbeitet der Bodenverdichtung entgegen, doch erreicht diese Maßnahme im Regelfall nicht den Unterboden. Unterhalb der Eindringtiefe des Pfluges entsteht eine dichtere „Pflugschle“, über der sich bei starker Ausprägung das Wasser staut

E18 | Die ackerbauliche Nutzung des Bodens erfordert in der Regel eine mechanische Bearbeitung des Oberbodens. **CD**

CD | Merkblatt „Bodenverdichtung“ auf ► **CD**.



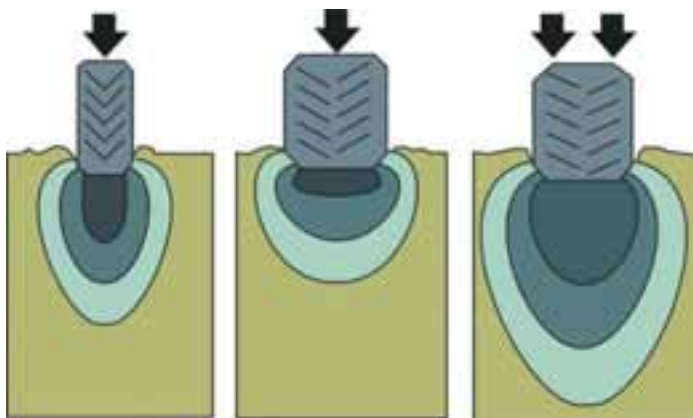
E19 | Der Boden im Computer-Tomogramm (CT). **Oben:** Verdichteter Boden, in dem die meisten Makroporen geschlossen und die Verbindungen zwischen diesen unterbrochen sind. **Unten:** Nicht verdichteter Boden mit Makroporen und Röhren. **CD**

Die wichtigsten Merkmale einer schadhaften Bodenverdichtung (► CD Merkblatt LfL)
Das Bodengefüge ist kompakt, porenarm und bricht scharfkantig; oftmals existiert ein deutlicher Gefügesprung („Pflugsohle“).
Der Porenraum für Wasser, Luft, Bodentiere und Pflanzenwurzeln ist eingeschränkt.
Das durch Pflanzenwurzeln und Regenwürmer erzeugte Leitbahnsystem im Boden ist zerstört, nur wenige größere Hohlräume ohne Zusammenhang bleiben übrig.
Die Sickerbedingungen für das Niederschlagswasser von der Oberfläche in den Unterboden, der Gasaustausch zwischen Krume und Unterboden, die Rottebedingungen in der Krume und das Tiefenwachstum der Pflanzenwurzeln sind beeinträchtigt.

Tabelle E4

und die eine Barriere für die Wurzeldurchdringung ist (➔ E17). Vor allem im Frühjahr und nach ergiebigen Regenfällen sind häufig durchnässte Böden die Folge.

Stauwasser Böden, fehlende Grobporen als Leitbahnen für das Sickerwasser und eine verkümmerte Vegetationsbedeckung als Folgen der Verdichtung fördern in hohem Maße den raschen oberflächlichen Abfluss des Niederschlagswassers und erhöhen damit die Gefahr lokaler und regionaler Überschwemmungen (► Modul D Wasser). Zudem führt der Oberflächenabfluss, der sich insbesondere in den verfestigten Fahrspuren konzentriert, zu einem erheblichen Verlust an Bodenmaterial infolge der Bodenerosion.



E20 | Druckeinwirkung bei unterschiedlicher Kontaktflächengröße zwischen Reifen und Boden sowie unterschiedlicher Radlast. In der dargestellten „Druckwiebel“ nimmt die Druckeinwirkung von dunkler zu heller Farbe ab. Links: Schmalere Reifen mit hoher Tiefenwirkung. Mitte: Breitreifen mit geringerer Tiefenwirkung. Rechts: Hohe Tiefenwirkung bei doppelter Radlast bei einem Breitreifen. CD

Eine Verdichtung des Bodens durch die landwirtschaftliche Nutzung und der damit verbundenen Notwendigkeit des Befahrens lässt sich meist nicht vermeiden. Das Risiko der Bodenverdichtung steigt mit der Radlast, dem Kontaktflächendruck (➔ E20) und der Bodenfeuchte. Damit ist es bei der Ernte, vor allem bei schwerer Erntelast im Spätherbst (Mais und Rüben) bei häufig feuchten Böden, und bei der Ausbringung von Gülle im Frühjahr (auf ebenfalls feuchten Böden nach Ende der Sperrfrist; ➔ Exkurs Düngeverordnung) besonders hoch. Durch das Pflügen wird der Oberboden verdichteter Böden zwar wieder aufgebrochen, doch besitzt das gelockerte Bodengefüge keine Stabilität und ist bei



E21 | Tiefe Fahrspuren – hier Folge eines überlockerten Bodens, der zu nass befahren wurde.

erneutem Befahren besonders verdichtungsanfällig. Um einen langfristigen Lockerungseffekt zu sichern, wäre eine längere Bodenruhe mit natürlicher Setzung erforderlich. Da das Verdichtungsrisiko in nassen (wassergesättigten) Böden stark ansteigt, kann der Landwirt versuchen, das Befahren solcher Böden zu vermeiden. Jedoch lassen ein enges zeitliches Fenster für die Ernte und ungünstige Witterung dies meist nur eingeschränkt zu. Witterungsunabhängige Abhilfe schaffen jedoch Maßnahmen wie die Reduzierung der Feldbefahrungen durch Gerätekombinationen, das Benutzen von Fahrgassen bzw. das Fahren außerhalb der Furche

beim Pflügen („Onland-Pflügen“) und die Verbesserung der Tragfähigkeit der Böden. Letzteres wird insbesondere durch eine konservierende Bodenbearbeitung durch den Einsatz nicht wendender Lockerungswerkzeuge (z. B. des Grubbers) erreicht, da hierbei im Gegensatz zum Pflügen eine tragfähige Krumenstruktur erhalten bleibt, Bodentiere als Gefügebildner geschont und die Ausbildung einer ausgeprägten Pflugsohle vermieden wird. Durch das → Mulchsaatverfahren wird die biologische Aktivität im Boden gefördert und die Bodenoberfläche vor der Verkrustung und Verschlammung geschützt, was die Notwendigkeit zur mechanischen Lockerung der Ackerkrume reduziert.

Einfluss auf die Verdichtung hat insbesondere der über die Reifen der landwirtschaftlichen Maschinen auf den Boden ausgeübte Druck. Dieser ist abhängig von der Größe der Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden (= Kontaktflächendruck; ▶ Schüleraktivität E12b) und der absoluten Last, die jedem Reifen aufliegt (= Radlast). Bei gleicher Radlast ist der Kontaktflächendruck umso höher, je kleiner die Aufstandsfläche der Reifen ist (↗ E20). Kleine Kontaktflächen verursachen daher hohe Kontaktflächendrucke und damit große Spurtiefen, während große Kontakt-



E22 | Traktor mit Zwillingsbereifung und Grubberkombination bei der mulchenden Bestellung (oben) und dreiaxsiges Güllefass mit Schleppschlauchverteiler und Reifendruckregelanlage (unten).



Maßnahme	Bodenschützender Aspekt
Reifeninnendruck so niedrig wie zugelassen einstellen	Größere Kontaktfläche und damit geringerer Bodendruck
Niederdruckbreitreifen und Zwillingsräder	Vergrößerung der Kontaktfläche, niedrigerer Reifeninnendruck möglich, deshalb geringerer Bodendruck und effektivere Kraftübertragung (Traktion)
Regelanlagen zur Steuerung des optimalen Reifeninnendrucks von der Fahrerkabine aus	Anpassung an die unterschiedlichen Erfordernisse für Feld- und Straßenfahrten → Entlastung für die Feldfahrten
Auf unnötiges Gewicht am Fahrzeug verzichten (z. B. auf Frontlader)	Weniger Bodendruck im Unterboden
Fahrwerke mit versetzten Achsen	Reduzierung der Überrollhäufigkeit und Vermeidung von Spurbildung
Schlepper fährt beim Pflügen außerhalb der Furche („onland“)	Vermeiden hoher Furchenraddrücke
Befahren nasser Böden grundsätzlich vermeiden	Trockene Böden sind wesentlich tragfähiger

flächen das Gewicht auf eine größere Fläche verteilen. Eine ausreichende Tragkraft des Bodens kann dann ein tieferes Einsinken verhindern. Dieses Prinzip ist von der Wirkung von Schneeschuhen bekannt. Bei sehr hohen Radlasten stößt die Realisierung von Kontaktflächen, die groß genug sind, um auch im feuchten Unterboden Verdichtungen zu verhindern, allerdings an Grenzen.

Um die Gefährdung einer Bodenverdichtung zu verringern, sind die Reduzierung der Radlast und die Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Reifen und Boden geeignete Maßnahmen. So können die landwirtschaftlichen Fahrzeuge mit größeren und breiteren Reifen ausgestattet und bei niedrigerem Reifendruck gefahren werden (breite Niederdruckreifen oder Zwillingsräder; ↗ Tabelle E5).

E23 | Folge unterbrochener Sickerwege: Besonders nach ergiebigen Niederschlägen oder nach der Schneeschmelze bleibt über verdichteten Böden häufig das Wasser stehen. **GD**

Tabelle E5 | Technische Maßnahmen zur Reduzierung schadhafter Bodenverdichtung.



E24 | Oben: Abgeschwemmter Boden – nicht selten das Ergebnis eines einzelnen Gewitterregens.

Unten: Linienhafte Bodenerosion (Graben-erosion).

Tabelle E6 | Bodenabtrag für verschiedene Fruchtfolgen und Anbauverfahren (in Prozent gegenüber Abtrag bei dauernder Saatbettbedingung).

Bodenverdichtung ist im Gegensatz zur Bodenerosion reversibel. Die wesentlichen Kräfte zur Auflösung der Bodenverdichtung sind die „Selbsteilungskräfte“ der Natur (Frost, Quellung, Schrumpfung), die Tätigkeit der Bodenlebewesen sowie das Wachstum der Pflanzenwurzeln. Ihre Wirksamkeit ist allerdings von der Bodenart abhängig (Sandböden reagieren besonders träge) und nimmt mit zunehmender Bodentiefe ab. Je nach Grad der Verdichtung dauert die natürliche Bodenlockerung mehrere Jahrzehnte.

4.3 Bodenerosion

Bodenerosion, die weltweit größte Gefahr für die Böden, ist die das natürliche Maß an Abtragung überschreitende Verlagerung von Bodenbestandteilen durch Wind und Wasser. Sie tritt insbesondere dort auf, wo der Boden infolge der Entfernung oder Schädigung der natürlichen Pflanzendecke ungeschützt ist. Ein starkes Hanggefälle, Starkregenereignisse zu vegetationsarmen Zeiten, Schneeschmelze oder heftige Winde führen zu einer Verstärkung des Bodenabtrags. Die flächenhafte Bodenerosion geht meist langsam vor sich und wird daher kaum erkannt, so dass sie dadurch oft nicht besonders ernst genommen wird („schleichende Bodenerosion“). Die nur flachen Eintiefungen (Rillen) werden durch die nachfolgende Bearbeitung oftmals wieder verwischt. Dagegen kann die linienhafte Bodenerosion plötzliche und spektakuläre Schäden anrichten (↗ E24 unten). Hangabwärts verfrachtetes Bodenmaterial wird am Hangfuß als so genanntes → Kolluvium wieder abgelagert oder über Entwässerungsgräben und Bäche vollständig weggeführt (▶ Schüleraktivitäten E1–E8).

Schätzungen gehen davon aus, dass in Mitteleuropa derzeit innerhalb von 10 Jahren ca. ½ cm der Bodenoberfläche durch Wasser- oder Winderosion abgetragen werden, was in 1000 Jahren etwa einem halben Meter entspricht. Anders ausgedrückt ist dies durchschnittlich 1 t Boden pro Hektar und Jahr. Während eines einzigen Starkregenereignisses können jedoch bereits mehr als 100 t Bodenmaterial pro Hektar abgetragen werden. Das sind mehr als 10 kg pro m² oder durchschnittlich mehr als 6 mm Ackerkrume! Die Boden Neubildung durch die Gesteinsverwitterung beträgt dagegen durchschnittlich nur 0,1 mm im Jahr, so dass langfristig – ohne Schutzmaßnahmen – unsere Böden

Fruchtfolge	Bodenabtrag (%)
Grünland	0,4
Mulchsaatmais-Getreide-Getreide	6
Getreide-Getreide-Getreide	8
Silomais-Getreide-Getreide	18
Winterzwiebel-Getreide-Getreide	26
Silomais-Silomais-Getreide	40

Erosionsmindernde Maßnahmen in der Landwirtschaft
Reduzierung der Bodenbearbeitung auf ein Minimum (Minimalbodenbearbeitung)
Vermeidung von Fahrspuren und des Pflügens in Hangneigung (stattdessen → Konturpflügen)
Verkürzung der Feldlänge in Hanglage durch Grünstreifen und Terrassierungen
Erhöhung des Humusanteils und damit Stabilisierung des Bodengefüges durch organische Düngung oder Kalkung des Bodens zur Verbesserung der Wasseraufnahmefähigkeit und Reduzierung des Oberflächenabflusses
Vermeidung langer Zeiten ohne Bodenbedeckung in Hanglage, der Hanglage angepasste Feldfrüchte bzw. Fruchtfolgen mit langer Bodenbedeckung
Mulchsaat (↗ Exkurs „Mulchsaat“)

Tabelle E7

verschwinden würden. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) empfiehlt daher, dass der Bodenerosion spätestens bei Erosionsbeträgen von 1 t pro Hektar und Jahr bei flachgründigen Böden und von 10 t pro Hektar bei tiefgründigen Böden mit gezielten Maßnahmen vorgebeugt wird (↗ Tabelle E7). Grundlage zur Bestimmung der Erosionsbeträge ist die „Allgemeine Bodenab-

tragungsgleichung“ (ABAG; ↗ Exkurs Prognose der Bodenerosion mit der ABAG).

Mit dem tiefgreifenden Strukturwandel in der Landwirtschaft seit dem 2. Weltkrieg hat sich das Problem der Bodenerosion in Mitteleuropa deutlich verschärft. Erosionsverstärkend wirkten sich dabei die Vergrößerung der Felder im Zuge der Flurneuordnung, insbe-

Mulchsaat als ganzjähriger Erosionsschutz

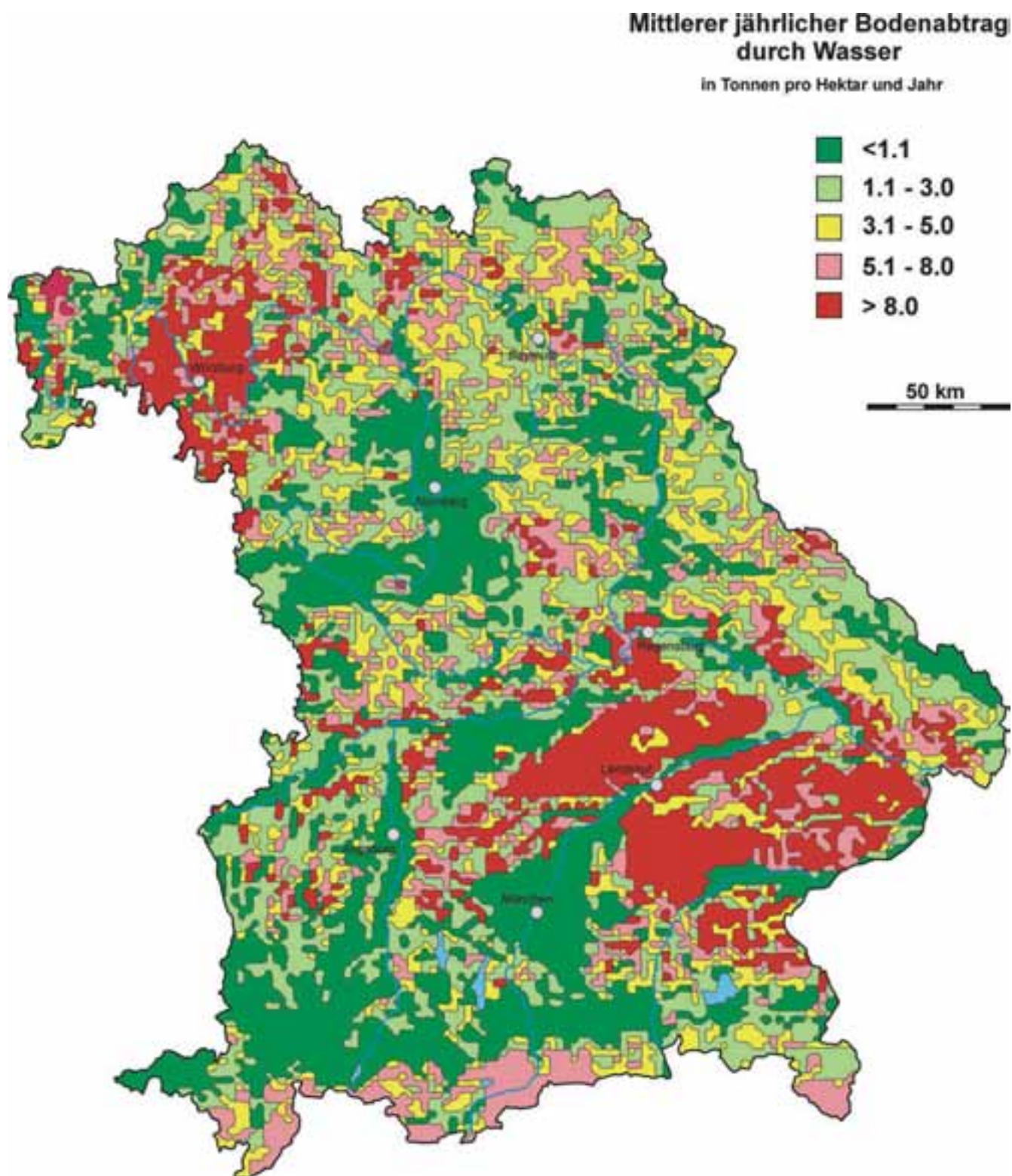
Unter Mulchsaat versteht man ein Aussaatverfahren, bei dem das Saatgut in eine mit abgestorbenen Pflanzen und Pflanzenresten bedeckte Bodenoberfläche eingebracht wird. Bei Mais kommt beispielsweise die Einsaat in das an der Oberfläche belassene oder flach eingearbeitete Stroh der Getreidevorfrucht oder in die abgefrorenen Zwischenfruchtstände in Frage.



E25 | Je geschlossener der Boden bedeckt ist, umso besser ist er vor Erosion geschützt.

Exkurs

CD | Merkblatt LfL.



E26 | Erosionsgefährdungskarte für Bayern durch Wasser (Grundlage: Karte des mittleren Bodenabtrags, Erosionsatlas Bayern 1986, GLA).



sondere durch die Herausnahme von Hangstufen, die Beseitigung von Hecken und Gräben und die Umwandlung von Grünland in Ackerland aus. Die Zunahme der Früchte mit später und relativ kurzer Bodenbedeckung (Zuckerrüben, Mais) zu Lasten von Früchten mit früher und langer Bodenbedeckung (Klee, Klee gras) wirkten sich ebenso negativ aus, wie die Ausdehnung des Maisanbaus auf erosionsanfällige Standorte der Mittelgebirge und des Hügellandes. Hinzu kam der vermehrte Einsatz schwerer Maschinen und die dadurch bedingten Strukturschäden im Boden (insbesondere ↗ Kapitel 4.2 Bodenverdichtung).

4.4 Erosionsgefährdung durch Wasser in Bayern

Die Anfälligkeit eines Ackerstandortes gegenüber der Erosion durch Wasser ist von einer Reihe von Einflussgrößen abhängig (↗ Exkurs Prognose der Bodenerosion mit der ABAG). Um einen Überblick über die Gefährdung der Flächen in Bayern zu erhalten, wurde 1986 ein Erosionsatlas von Bayern erstellt. Solche Kartenwerke tragen dazu bei, erosionsmindernde Maßnahmen gezielt in den besonders gefährdeten Gebieten durchzuführen. Im Erosionsatlas von Bayern enthalten ist die Karte der mittleren Bodenabträge in Bayern. Zu ihrer Erstellung wurde Bayern in 13.000 Testflächen eingeteilt und für diese jeweils die erosionsrelevanten Einflussgrößen ermittelt. Auf dieser Basis konnte mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung ABAG das langjährige mittlere Risiko



der Erosion abgeschätzt werden. Die errechneten und in der Karte dargestellten Werte sind somit keine tatsächlichen Werte der Erosion, sondern geben den wahrscheinlichen Bodenabtrag über einen längeren Zeitraum wieder. Da die Werte zudem über größere Flächen gemittelt sind, werden die tatsächlichen Erosionsleistungen einzelner Ackerfluren in den meisten Fällen von den rechnerisch ermittelten abweichen.

Die Farbgebung der Karte ist so gewählt, dass tolerierbare und sehr geringe Werte in dunkelgrünem Farbton dargestellt sind und sich damit eine Assoziation zum „grünen Bereich“ ergibt. Die roten Farben weisen dagegen auf Flächen mit zu hohen Werten hin. Besonders gefährdet gegenüber der Bodenerosion sind

E27 | *Langzeitliche Erosionsstudien. Über das in das Sedimentationsbecken eingeschwemmte Bodenmaterial und über die gemessenen Regenmengen lassen sich quantitative Aussagen zur Bodenerosion machen.*



E28 | *Neben Wasser trägt auch die Erosion durch Wind zum Verlust des Bodens bei.*

Prognose der Bodenerosion mit der ABAG (Merkblatt und Software ► CD)

Eine oft verwendete methodische Grundlage für die Abschätzung der Bodenerosion durch Wasser bildet die „Universal Soil Loss Equation“ (USLE) bzw. deren Übertragung auf mitteleuropäische Verhältnisse als „Allgemeine Bodenabtragungsgleichung“ (ABAG). Mit dieser Methode wird die durch Wasser verursachte Bodenerosion an Ackerstandorten unter Berücksichtigung der folgenden Faktoren abgeschätzt:

• Erosivität des Regens	R
• Erodierbarkeit des Bodens	K
• Hangneigung	S
• Hanglänge	L
• Nutzung bzw. Fruchtfolge	C
• Schutzmaßnahmen	P

Die Größen R, K, und S sind weitgehend naturgegeben, während der Mensch auf die Faktoren L, C und P großen Einfluss ausüben kann. Die Erosionsfaktoren werden nachfolgend kurz skizziert.

R Regenfaktor (rain): Geringe Niederschläge führen im Regelfall zu keinem Abfluss und damit auch zu keiner Bodenerosion. Je ergiebiger, häufiger und intensiver die Regenfälle allerdings sind, desto größer ist das Erosionsgeschehen. Besonders Starkregen zu bestimmten Jahreszeiten erhöhen die Erosionsgefahr. Dies gilt insbesondere zu Zeiten unvollständiger Bodenbedeckung durch Feldfrüchte.

K Erodierbarkeit des Bodens (soil erodibility): Feinsandige, schluffige (mehlige) Böden neigen besonders zur Erosion, z. B. Lössböden, wogegen die Erosionsanfälligkeit von größeren Sanden, gesteinsreichen Böden oder Tonböden geringer ist. Bei Sand ist es die höhere Wasserdurchlässigkeit, die den Abfluss und damit Abtrag mindert, bei Tonen bremst der bessere Zusammenhalt der Bodenteilchen den Abtrag.

S Hangneigung (slope): Die Hangneigung eines Standortes spielt die entscheidende Rolle für die Höhe des Erosionsausmaßes. Mit zunehmender Hangneigung steigt die erosive Transportkraft des abfließenden Wassers.

L Hanglänge (length): Die Wirkung des Abflusses wird durch die Hanglänge ebenfalls beeinflusst. Das Oberflächenwasser kann sich im Hangverlauf sammeln und dann tiefe Rillenerosion verursachen.

C Nutzungsfaktor (cropping): Dieser Faktor berücksichtigt den Nutzungseinfluss des Menschen. Eine vollständige Bedeckung des Bodens mit Vegetation kann die Erosion stark reduzieren. Ein entsprechend geringes Erosionsrisiko findet sich daher unter Wald- und Grünlandnutzung, wogegen intensive Ackernutzung das Risiko erhöht. Der Anbau bestimmter Feldfrüchte, bei denen der Boden während langer Phasen im Frühjahr unbedeckt bleibt, fördert den Abtrag. Durch geeignete Maßnahmen, z. B. Mulchsaaten (► Exkurs Mulchsaat) kann auf diesen Faktor Einfluss genommen werden.

P Schutzfaktor (protecting): Mit diesem Faktor fließt die Wirkung erosionshemmender Maßnahmen ein (z. B. das Pflügen parallel zu den Höhenlinien).

Mit Hilfe der Abtragungsgleichung ($\text{Abtrag} = R \times K \times S \times L \times C \times P$) lässt sich für einzelne Ackerstandorte das langjährige Mittel der Erosion und damit die Erosionsgefährdung ermitteln (► Schüleraktivität E8). Überschreiten die abgeschätzten Erosionsbeträge die Richtwerte, können mit Hilfe von Erosionsgefährdungskarten entsprechende Empfehlungen zur erosionsschützenden Bewirtschaftung einzelner Flurstücke gemacht werden.



E29 | Die erosionswirksame Hanglänge beginnt, wo der Oberflächenabfluss einsetzt. CD

demnach das Tertiärhügelland und die Mainfränkischen Lössgebiete. Hier verschneiden sich gleich mehrere erosionsfördernde Gegebenheiten. Zum einen sind in diesen Gebieten schluffreiche Lössböden weit verbreitet, die etwa 3 – 4-mal erosionsanfälliger sind als Sandböden. Zum anderen ist die landwirtschaftliche Nutzung auf diesen außerordentlich ertragreichen Böden in bewegtem Relief besonders intensiv. Dagegen stehen großflä-

chig Gebiete, die sehr flach und wenig erosionsanfällig sind, wie etwa die Münchener Schotterebene und diverse Flusstäler. Auch nutzungsbedingt wenig gefährdete Regionen sind zu erkennen. Dazu zählen die großen Wald- und Grünlandgebiete im Alpenvorland, die Wälder in Mittelfranken, der Bayerische Wald und der Spessart. In den Alpen selbst wirken sich die weit höheren Niederschläge verstärkend auf die Bodenerosion aus.

5 Boden- und umweltschonender Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

In der Vergangenheit erschien in Landwirtschaft, Obst-, Wein- und Gartenbau der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nach der Devise „Viel hilft viel“ häufig alleiniges Mittel für die Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten, Schädlingen und Unkräutern. Dabei war vielfach die Wirkung dieser Stoffe im Nahrungskreislauf, in der Umwelt und besonders auch im Boden wenig bekannt.

Dem Leitbild des integrierten Pflanzenschutzes (➔ Exkurs Integrierter Pflanzenschutz) folgend, werden heute nach Möglichkeit alle pflanzenbaulich vorbeugenden Maßnahmen ausgeschöpft und biologische, biotechnologische oder chemische Bekämpfungsmaßnahmen gezielt eingesetzt. Moderne, situations-, bedarfs- und fachgerecht eingesetzte Pflanzenschutzmittel wirken heute sehr spezifisch und haben zum Teil sehr kurze Verweilzeiten im Ökosystem und damit auch im Boden. Einen großen Anteil des Abbauprozesses der Wirkstoffe im Boden übernehmen dabei die Mikroorganismen.



E30 | Mechanische Unkrautbekämpfung als Alternative zu Pflanzenschutzmitteln.

6 Ökologischer Landbau

Unter anderem wegen seines Verzichts auf synthetische Pflanzenschutzmittel und mineralische Stickstoffmittel ist der ökologische Landbau eine besonders umwelt- und bodenfreundliche Form der Bewirtschaftung. Landwirtschaftliche Betriebe können dabei in verschiedenen Verbänden organisiert sein (z. B. Demeter, Bioland). In Bayern hat die

Zahl ökologisch wirtschaftender Betriebe in den letzten Jahren erheblich zugenommen, wobei die ökologisch bewirtschaftete Anbaufläche von etwa 55.000 ha im Jahr 1998 auf knapp 130.000 ha im Jahr 2003 angestiegen ist. Dies entspricht einem Anteil von 3,9 Prozent an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Bayern.

Integrierter Pflanzenschutz

(Auszug aus der Publikation „Landwirtschaft in Bayern – Leistung, Vielfalt, Qualität“ des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten)

Pflanzenkrankheiten, Schädlinge und Unkräuter führen zu Ertragsverlusten, Qualitätseinbußen und können auch direkt durch die Bildung von Pilzgiften die Gesundheit von Mensch und Tier gefährden. Glaubte man früher, alle pflanzenbaulichen Probleme durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln lösen zu können, ist man inzwischen aus Gründen des Verbraucher-, Boden- und Umweltschutzes sowie im Hinblick auf einen wirtschaftlichen Einsatz vorsichtiger.

Pflanzenschutz heute ist mehr als nur der Einsatz von Chemie. Leitbild ist der integrierte Pflanzenschutz. Dabei werden nach Möglichkeit alle pflanzenbaulich vorbeugenden Maßnahmen ausgeschöpft und chemische, biologische und biotechnologische Bekämpfungsmaßnahmen gezielt eingesetzt. Das Pflanzenschutzgesetz schreibt vor, dass Pflanzenschutz nur nach guter fachlicher Praxis durchgeführt werden darf. Diese dient insbesondere der Gesunderhaltung und der Qualitätssicherung von Kulturpflanzen und der Abwehr von Gefahren, die durch die Anwendung und das Lagern von Pflanzenschutzmitteln oder durch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt entstehen können. Der notwendige Schutz der Kulturpflanzen ist im Sinne einer nachhaltigen Pflanzenproduktion eng mit dem Schutz der Verbraucher und der Schonung der Umwelt und der Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen verknüpft.

Für den Pflanzenbau und den Pflanzenschutz von heute sind mehr denn je Kenntnisse und Fähigkeiten des Anbauers (Landwirt, Gärtner, Obstbauer und Winzer) gefordert. Moderner Pflanzenschutz ist immer abgestimmt auf den einzelnen Betrieb und erfolgt situationsbezogen. Für seine Entscheidung braucht der Anbauer deshalb möglichst genaue Informationen darüber, ob der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln notwendig ist, welche Mittel gegen den oder die Schaderreger wirksam und erlaubt sind und zu welchem Zeitpunkt und mit welcher Aufwandmenge sie ausgebracht werden sollen.

Experten des Institutes für Pflanzenschutz der Landesanstalt für Landwirtschaft und die Berater der Ämter für Landwirtschaft und Forsten liefern den Anbauern diese Informationen: Damit können sie Pflanzenschutzmaßnahmen auf das unbedingt erforderliche Maß begrenzen und dadurch die Umwelt schonen.



E31 | Integrierter Pflanzenschutz als aktiver Bodenschutz.

Neben der richtigen Mittelwahl spielt die sachgerechte Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln eine wichtige Rolle. Moderne Pflanzenschutzgeräte für Ackerbaukulturen, Obst, Wein und Hopfen sind mit Düsen ausgestattet, die ein Verwehen der Bekämpfungsflüssigkeit weitestgehend verhindern. Pflanzenschutzmittel müssen auf die Zielfläche, nicht darüber hinaus ausgebracht werden [....].

Zum Informations- und Beratungsangebot zählen fortlaufende regionale Befallserhebungen, spezifische Bekämpfungsstrategien, neueste Ergebnisse aus der Forschung sowie Erkenntnisse aus bayernweit durchgeführten, praxisnahen Feldversuchen. Darüber hinaus sind über 120 Wetterstationen des agrarmeteorologischen Messnetzes in Bayern eine wesentliche Stütze der Pflanzenschutzberatung: Aktuelle Witterungsdaten fließen zusammen mit den aktuellen Befallserhebungen in den „Pflanzenschutz-Warndienst“ sowie in die computergestützten „Prognosemodelle und Entscheidungshilfen“ ein. Diese Modelle wurden speziell zur gezielten Bekämpfung von Schadorganismen entwickelt [...]. Solche Modelle gibt es für verschiedene Getreide-

krankheiten, Krautfäule bei Kartoffeln, Blattkrankheiten bei Zuckerrüben, falschen Mehltau bei Hopfen und Salat sowie Apfelschorf und Feuerbrand im Obstbau.

Die Durchführung des Pflanzenschutzes nach guter fachlicher Praxis hat bereits zu beachtlichen Erfolgen geführt:

- Im Getreidebau konnte seit Einführung des ersten Bekämpfungsmodells Anfang der 90er Jahre die Zahl der Behandlungen mit Pflanzenschutzmitteln gegen Krankheiten im Schnitt von rund 2,5 auf 1,5 reduziert werden.
- Im Kartoffelbau konnte die Zahl der Behandlungen gegen die Kraut- und Knollenfäule in Abhängigkeit von der jeweiligen Jahreswitterung um bis zu 25 %, in Einzelfällen auch mehr, gesenkt werden.

- Im Hopfenbau konnte in den letzten 25 Jahren der Pflanzenschutz Aufwand gegen den Falschen Mehltau um mehr als 50 % verringert werden.

In Zukunft ist mit weiteren Fortschritten zu rechnen durch

- die Züchtung gesünderer Sorten,
- die Weiterentwicklung der computergestützten Prognosemodelle und Entscheidungshilfen,
- die Verbesserung des Informationsflusses von der Forschung zur Praxis,
- die Verbesserung der Aus- und Fortbildung der Anwender,
- die Weiterführung einer unabhängigen Pflanzenschutzberatung.

Landwirtschaft im Kleinen – unser Haus-, Schreber- und Schulgarten

In Siedlungsräumen erfüllen Haus- und Schrebergärten ebenso wie Grünanlagen als „ökologische Ausgleichsflächen“ wichtige Funktionen im Naturhaushalt. So sichern sie unter anderem die Artenvielfalt von Flora und Fauna im urbanen Bereich oder ermöglichen mit ihren nicht versiegelten Flächen die Versickerung des Niederschlagswassers in den Boden. Andererseits gefährden über die Luft und den Regen eingetragene Schadstoffe aus nahe gelegenen Industrieanlagen oder ein häufiger Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln die Gartenböden und damit die natürlichen Bo-

denfunktionen. Untersuchungen in Stadtgärten zeigen, dass deren Böden häufig besonders hohe Anreicherungen von bodenfremden Stoffen aufweisen. Zunehmend setzt sich das Umweltbewusstsein allerdings auch im eigenen Garten durch. Dabei wird die Anwendung der Erkenntnisse der bodenschonenden Landwirtschaft oft sogar als aktives Erleben der Natur erfahren (► Schüleraktivität E13).

Besondere Bedeutung kommt für das Thema „Boden und Landwirtschaft“ im Unterricht dem Schulgarten zu, der derzeit eine Renaissance erlebt – etwa ein Viertel aller Schulen in Deutschland sind im Besitz oder haben Zugang zu einem entsprechenden Garten. In Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt ist Schulgartenunterricht sogar Pflichtfach in der Grundschule. Anschauliche, fächerübergreifende Wissensvermittlung und sinnliche Erlebnisse mit der Natur werden im Schulgarten ideal miteinander verbunden und ermöglichen dem Schüler Umwelterfahrungen. Auch affektive Lernbereiche wie beispielsweise die Achtung vor Lebewesen und die Bereitschaft zu verantwortlichem Handeln werden realisiert. Für das Thema „Boden“ wichtig ist vor allem das handlungsorientierte Erlernen von Agrartechniken wie Bodenbearbeitung, Säen, Bewässerung in einer Lernumgebung, die alle Sinne anspricht.


► www.bag-schulgarten.de





E32 | Schulgarten der Hauptschule Wegscheid (Niederbayern).




Weiterführende Literatur (Auswahl):

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2002): Ackerböden vor Erosion schützen. Bodenfruchtbarkeit erhalten. – Merkblatt, 12 S., Freising (► www.lfl.bayern.de). 

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2003): Leitfaden zur Düngung von Acker- und Grünland. – Broschüre, 82 S., Freising (► www.lfl.bayern.de). 

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2004): Ackerböden vor Verdichtung schützen – Maßnahmen zur Verbesserung des Bodengefüges. – Merkblatt, 12 S., Freising (► www.lfl.bayern.de). 

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2004): Das Bodenleben schonen. – Merkblatt, 12 S., Freising (► www.lfl.bayern.de). 

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2004): Bodenerosion – Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern. – Merkblatt, 9 S., Freising (► www.lfl.bayern.de). 

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.) (2005): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Zwischenbilanz der wichtigsten Ergebnisse aus Bodenchemie, Bodenbiologie und Bodenphysik 1985-2005. – LfL-Schriftenreihe aus dem Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Nr. 8/2005: 60 S., Freising (► www.lfl.bayern.de).

Haber, W. (1997): Ackerböden – verletzliches Fundament unserer Ernährung. – In: GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.): Böden – verletzliches Fundament. – mensch + umwelt, 11. Ausgabe: S. 23 – 35, Neuherberg.

Diez, T. (1996): Erosionsschäden vermeiden. – Broschüre, 32 S., Bonn, Hrsg. AID (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten).

Hege, U., Brenner, M. (2004): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL). – LfL-Schriftenreihe aus dem Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Nr. 9/2004: 51 S., Freising (► www.lfl.bayern.de).

Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)