

Schwerlast auf dem Acker

Der Unterboden der Felder verdichtet sich immer mehr. Das behindert das Pflanzenwachstum und fördert die Entstehung von Hochwasser. Schuld sind häufig schwere Landmaschinen.

Diesen Artikel können Sie als Audiodatei  beziehen, siehe: www.spektrum.de/audio

Von Rienk R. van der Ploeg,
Wilfried Ehlers und Rainer Horn

Seit einiger Zeit beobachten Landwirte mit Sorge, dass sie ihre Felder immer aufwändiger bearbeiten müssen, um gute Ernten einzufahren. Sie pflügen tiefer und düngen kräftiger – und doch wird es immer schwerer, gleich hohe Erträge zu erzielen. Offenbar wird der Ackerboden trotz der Bemühungen schlechter.

Gleichzeitig stellen Agronomen fest, dass die intensiv bearbeiteten Flächen zunehmend weniger Wasser aufnehmen. Immer größere Teile der Niederschläge fließen bei Starkregen oberflächlich ab. Schäden durch Erosion sind nur eine der fatalen Folgen. Im Brennpunkt der Forschung steht derzeit auch der Zusammenhang mit Hochwasserereignissen.

Es liegt auf der Hand, die Ursache für den bedenklichen Zustand der Ackerböden in der beträchtlichen Intensivierung, Mechanisierung und Automatisierung der Landwirtschaft in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Welt-

krieg zu suchen. Um 1950 arbeiteten dort etwa zehnmal mehr Menschen als heute. Zugtiere auf dem Feld sind praktisch vollständig durch Maschinen ersetzt. Aber die Fahrzeuge werden auch immer schwerer. Speziell diesen Aspekt möchten wir in diesem Beitrag behandeln. Eine Reihe von Studien, zu denen auch Kollegen und viele Mitarbeiter beitrugen, enthüllen eine bedenkliche Entwicklung. Wie massiv zu schwere Landmaschinen dem Boden schaden – und schon bleibend geschadet haben –, konnten wir bei wiederholten Messungen feststellen, die an verschiedenen Orten teils über Jahre stattfanden.

Ein gesunder Lehmboden ist bis in tiefe Schichten, weit unterhalb des gepflügten Bereichs, deutlich porös. Die festen Teilchen liegen nahe beieinander, bilden aber unzählige feine Lücken, die idealerweise bei fruchtbarem Lössboden gut 45 Prozent des Volumens ausmachen. Bei tonigem Lehm können es über 50 Prozent sein. Besonders die gröberen dieser Poren, mit einem Durchmesser von mindestens 0,05 Millimeter, sind für

die Durchlüftung und schnelle Wasserführung wichtig. In ihnen leben die zahlreichen Bodenorganismen, und hier finden die Pflanzenwurzeln Raum. In einem solchen Bodengefüge haben wachsende Wurzeln von Feldkulturen die Kraft, die lockeren Partikel beiseite zu schieben.

Die Hohlräume werden enger, verschwinden teilweise beziehungsweise verlieren die Verbindung untereinander, wenn schwere Ackermaschinen über das Feld fahren. Deren Gewicht drückt die Partikel nicht nur senkrecht dichter zusammen: Wie wir nachwies, verschmieren die Teilchen durch Scherkräfte der fahrenden Räder auch waagrecht. Der Schlupf der Antriebsräder wie auch Pflugschare kneten besonders den feuchten Boden und streichen die Poren zu. In der Folge lässt sich die homogenere Struktur umso leichter weiter verdichten. Frisch gepflügtes, lockeres Land ist für das Zusammenpressen besonders anfällig, zum Beispiel wenn der Schlepper auf frisch umgebrochenem Acker fährt. Die gelockerten oberen Schichten bieten

*Aus urheberrechtlichen Gründen
können wir Ihnen die Bilder leider
nicht online zeigen.*

dann weniger Eigenwiderstand als etwa eine Grasnarbe.

Noch dramatischer sind die Folgen, wenn der Boden zudem nass ist, wie leider oft zu Zeiten der Hauptfeldarbeit im Herbst und Frühjahr. Dann unterbindet das in den Poren stehende Wasser wie ein Schmierfilm den Zusammenhalt der festen Teilchen. Durch Druck und Knetung werden diese nun in einen sehr dichten Verband eingeregelt. Darum hinterlassen Landmaschinen bei Nässe tiefere Furchen und verdichten beim Fahren den Boden bis in Bereiche weit unterhalb der Ackerkrume – das ist die üblicherweise umgepflügte humusreiche, biologisch aktive Oberschicht, in der insbesondere die Bodentiere und -mikroorganismen für Fruchtbarkeit und Durchlüftung sorgen.

Fahrverbot auf der Straße

Dem Ackerland wird heute viel zugemutet. Manche großen Erntemaschinen für Kartoffeln oder Zuckerrüben wiegen beladen über 30 bis über 50 Tonnen. Neuere selbstfahrende Köpfrödebunker – die gleichzeitig 12 Reihen Rüben köpfen,

roden und bergen – bringen es mit Zuladung auf 65 Tonnen, Fahrzeuge für sechs Rübenreihen auch schon auf über 50 Tonnen. Gülle selbstfahrer und Agrarkipper, gezogen von Schleppern oder Treckern, erreichen 30 Tonnen und mehr. Auch moderne Mähdrescher wiegen beladen bis zu 30 Tonnen. Die Tendenz zu noch größeren und schwereren Maschinen ist ungebrochen.

Es klingt absurd: Auf Deutschlands Straßen sind so große Lasten grenzwertig oder nicht zugelassen. Zum Beispiel dürfen laut Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung Kraftfahrzeuge mit mehr als drei Achsen nicht über 32 Tonnen wiegen; auch darf das Gewicht pro Achse 10 Tonnen nicht übersteigen. Eine Ausnahme besteht nur für Container: Dann dürfen Sattelschlepper maximal 44 Tonnen aufbringen. Für Äcker existieren dergleichen Vorschriften bisher nicht. Dabei werden Straßen extra so gebaut, dass sie Schwerverkehr aushalten – die landwirtschaftliche Fläche aber ist von Natur aus für große Lasten nicht geschaffen. Und im Gegensatz zu Straßen soll sie auch

▲ Im Frühjahr 2006 überflutete die Elbe die Altstadt von Hitzacker. Wenige wissen, dass falsch behandelte Acker- und Waldböden solche Jahrhundert-Hochwasser fördern.

noch lebenswichtige ökologische Funktionen erfüllen.

Wie stark ein natürlich lockerer Boden auf das Befahren reagiert, hängt unter anderem von seiner Zusammensetzung ab – etwa davon, wie sandig, lehmig oder tonig er ist (das heißt, wie grob oder fein seine festen Teilchen sind). Auch der Humusgehalt ist wichtig: Vom Humus und Ton gehen Bindungskräfte aus, die die Bodenpartikel zu Aggregaten vernetzen. Es entsteht ein relativ stabiles Gefüge, das von oben kommende Kräfte in Grenzen elastisch abfängt. Beim frisch gepflügten Feld ist der feste Aggregatverband zunächst zerstört, und in einem nassen Boden wird er schwächer. Dann fehlen nämlich die Kapillarkräfte, die bei mittlerer Feuchte Spannung erzeugen. ▷

▷ Daher sollte man nasse Äcker nie mit großer Last befahren. Mittelfeuchte Böden sind tragfähiger, und trockene können infolge starker Anziehungskräfte zwischen den Festteilchen außerordentlich stabil sein.

Gerade einige der wertvollsten hiesigen Ackerböden – lehmreiche Böden aus Löss, Mergel und Eiszeitgeschiebe – sind für Verdichtung hoch empfindlich. An verschiedenen Standorten in Norddeutschland haben wir die Verhältnisse seit etwa 1960 verfolgt. Daher wissen wir, dass sich zum Beispiel die tiefgründigen Lössböden in den letzten Jahrzehnten teils Besorgnis erregend verschlechtert haben.

Warum Pflügen nicht hilft

Wer nämlich meint, beim nächsten Pflügen oder Grubbern würde die Erde wieder tief aufgelockert, der irrt leider. Das gilt bedingt nur für die obere Schicht – die Ackerkrume –, in der Bodenleben, Wasser und eindringender Frost sowie die Durchwurzelung dem Landwirt helfen, die gepresste und verschmierte Erde zu zerkrümeln und Luftporen zu schaffen, mithin für eine fruchtbare, »gare« Krume zu sorgen. Die Schichten unterhalb der Krume lockert eine normale Bearbeitung aber nicht. In diesen Bereichen nimmt die Bodenverdichtung seit Jahren bedenklich zu.

Denn an der Krumbasis entsteht unter zugstarkem Ackergerät mit der Zeit eine relativ kompakte Pflugsohle oder Schlepperradsohle. Besonders hier, aber auch in noch tieferen Schichten des

Unterbodens lagern sich die Teilchen übermäßig zusammen. Dieser Effekt kann dramatisch sein, wenn die Räder direkt in der frischen Pflugfurche fahren. Druck und Scherkräfte übertragen sich dann unmittelbar auf den Unterboden. Pflugsohlen reichen heute von etwa 30 bis in 50 Zentimeter Tiefe. Die Unterbodenverdichtung kann sich aber bis 80 oder 90 Zentimeter tief erstrecken. In diesen Schichten sind Organismen nicht mehr aktiv genug, um den Grund wieder aufzulockern. Auch Frost dringt normalerweise so tief nicht vor.

Im Bodenprofil zeichnet sich die deutlich verringerte Porosität der Pflugsohle als harter Übergang ab. Man sieht auch, dass die Ackerpflanzen diesen festen Bereich kaum mit ihren Wurzeln durchdringen. In einem nicht maschinell verdichteten Boden würden sie in diese Tiefe und darunter noch Wurzeln treiben, doch bei einer dichten Pflugsohle fällt ihnen das sichtlich schwer. Zum Beispiel wurzelt Wintergerste in einem tiefgründig lockeren Boden Ende Mai bis in einem Meter Tiefe. Wir fanden aber Standorte, wo die Wurzeln zu dieser Zeit nur 30 Zentimeter tief reichten (Bild S. 85 oben). Eine flachere Durchwurzelung scheint heute immer mehr zur Regel zu werden. Nur so tief, wie der Pflug reicht, genügen offenbar die Verhältnisse auf einem modernen Acker noch vollends den Ansprüchen der Pflanzen.

Erschreckend ist dabei, dass sich der Zustand eines Felds – oft schleichend und daher unbemerkt – durch wieder-

holtes Befahren Schritt für Schritt verschlechtert. Dabei sinkt der Acker langsam Zentimeter um Zentimeter ab. Das sieht man von oben nicht, zumal er von da locker erscheint. Trotzdem kann sich, selbst bei gleich bleibendem Gewicht der Fahrzeuge, die Verdichtung des Unterbodens von Mal zu Mal fortsetzen, bis ein Endzustand der Setzung (ein Gleichgewicht zwischen den Kräften) erreicht ist.

Zu hart für Wurzeln

Dies zeigte eine unserer langjährigen Studien, die im Solling im Weserbergland stattfand. Auf dem einen Feld lag die Radlast (pro schwerstem Einzelrad) nie über zwei Tonnen. Ein anderes Feld wurde in manchen Jahren zur Ernte mit bis zu 4,5 Tonnen Radlast befahren. Im ersten Jahr der Messungen (1988) hatte sich Acker 2 bereits um 3,7 Zentimeter im Vergleich zu Acker 1 gesenkt, sieben Jahre später (1995) schon um 4,4 Zentimeter. Die Porosität von Acker 1 in 30 bis 40 Zentimeter Tiefe betrug 46 Prozent, kennzeichnete damit eine schwach ausgeprägte Pflugsohle. Bei Acker 2 sank sie von 43 auf 41 Prozent. Im Jahr 2002 betrug der Wert für große Teile dieses Felds nur noch 37,5 Prozent. Diesen wahrlich alarmierenden Zustand könnte eine ein-

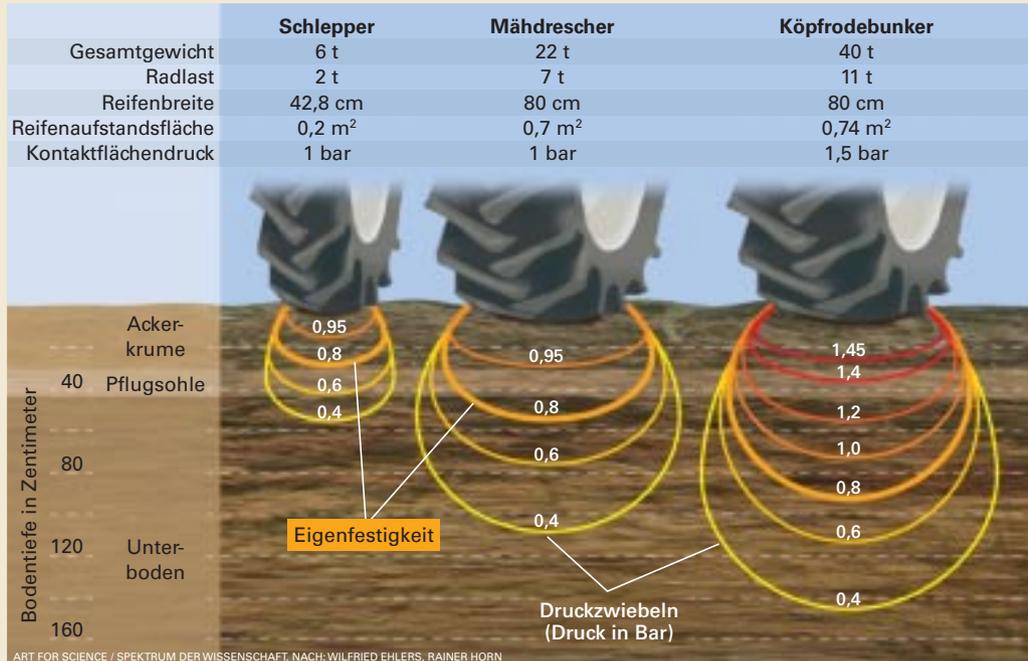
▼ Viele heute übliche große Landmaschinen wären mit ihrem Gewicht auf unseren Straßen nicht zugelassen. Sie zerstören das tiefere Bodengefüge zum Schaden für Ackerbau und Umwelt.

RAINER HORN



Künstliche Verdichtung des tiefen Ackerbodens

Die zunehmend mechanisierte und automatisierte Bearbeitung der Felder seit den 1950er Jahren veränderte den Zustand unterhalb der Krume und im tieferen Unterboden nachhaltig und leider nicht zum Vorteil. Durch tieferes Pflügen und stärker einwirkende Kräfte wurde die Krume vertieft und zugleich die Verdichtung der Pflugsohle an der Krumenbasis verstärkt. Nicht nur die Mächtigkeit der stark verdichteten Sohle, sondern auch die der Verdichtungszone bis in den tiefen Unterboden wuchs. Übersteigt der Druck die Eigenfestigkeit (im Beispiel rechts in der Pflugsohle 0,8 Bar), so schrumpft das Volumen der Poren im Unterboden kontinuierlich. Die kompakte Schicht behindert die Wurzel ausbreitung der Kulturpflanzen und vermindert den Durchfluss von Sickerwasser.



zige Zuckerrübenenernte mit einer Radlast von über 7 Tonnen bei nassem Boden herbeigeführt haben. Der Acker sank um weitere 1,9 Zentimeter, insgesamt nun 6,3 Zentimeter. Die Verdichtung reichte jetzt fast bis in einen Meter Tiefe.

Ähnliches dürfte für viele andere Äcker gelten. Durch tieferes Pflügen mit zugkräftigeren Schleppern – 1960 noch etwa 25 Zentimeter, heute 30 bis 35 Zentimeter – (und entsprechend höherem Treibstoffverbrauch) wurde die Pflugsohle immer tiefer verlagert. An sich sollte das tiefere Umarbeiten die Bodenqualität verbessern. Stattdessen wurde die Sohle mächtiger, fester und dichter.

Bedenklich ist, wie schlecht sich ein einmal verdichteter Unterboden wieder lockert, selbst wenn man Schrumpfung- und Quellungsprozesse infolge sinkenden

und steigenden Wassergehalts sowie Frost- und Taueffekte einbezieht. Wir beobachteten das an einem Lössboden bei Göttingen auf zwei benachbarten Feldern: In einem Jahr wurde das eine Feld dreimal mit schwerem Gerät mit 5 Tonnen Radlast befahren. Im Vergleich zum Kontrollfeld verringerte sich das Porenvolumen im Bereich der Pflugsohle um 3 Prozent, nämlich von 41 auf 38 Prozent. Im Unterboden unterhalb der Pflugsohle sank es von 45 auf 42 Prozent. Bereits dieser vielleicht klein erscheinende Unterschied bewirkte noch zwei Jahre später, dass die Gerste Anfang Juni nicht mehr einen Meter tief wurzelte, sondern nur einen halben, und das bei stark verringerter Durchwurzelungsdichte.

Leider gewährleistet nicht einmal eine verfestigte Pflugsohle, dass die Ver-

▲ **Breitere Reifen sind nicht die Lösung:** Steigt das Gewicht der Landmaschinen, reichen die Zwiebeln gleichen Drucks tiefer – auch wenn der Druck pro Fläche nicht zunimmt. Noch verheerender sind die Folgen bei größerem Druck.

hältnisse nicht noch schlimmer werden können. Dies erkannten wir bei Studien an Äckern, in denen zunächst nach über zehn Jahren etwa gleich bleibender Belastungen ein Gleichgewicht entstanden war: Eine ausgeprägte Pflugsohle schützte sozusagen das Bodengefüge darunter vor weiterer Verdichtung. Als dann aber Rübenroder mit über 42 Tonnen Gesamtlast über den Acker fahren, brach diese bisher stabile Sohle ein und der Boden wurde jetzt bis in über 80 Zentimeter Tiefe schlagartig komprimiert.

Nun ist den Landwirten und Agronomen die schleichende Bodenverdichtung schon länger bekannt, und sie haben darauf auch wiederholt aufmerksam gemacht. Zumindest allen, die Böden bewirtschaften oder Agrarfahrzeuge entwerfen, ist das Problem inzwischen bewusst. Sie sind durchaus bestrebt, die beiden schwer verträglichen Erfordernisse, ökonomische Bewirtschaftung und Schonung der Böden, miteinander zu vereinbaren. Nur werden leider manche physikalischen Zusammenhänge bisher ▶

IN KÜRZE

- ▶ Die Qualität unseres Ackerlands wird seit Jahrzehnten schlechter. Durch die **schweren Arbeitsmaschinen** verdichten die Böden zunehmend, neuerdings verstärkt bis in tiefere Schichten.
- ▶ **Agrarpflanzen darben** bei einem zu dichten, schlecht durchlüfteten, porenarmen Bodengefüge. Sie wurzeln weniger tief, leiden in trockenen Jahren an Wassermangel und in regenreichen an Staunässe.
- ▶ **Verdichtete Böden fördern Erosion und Hochwasser.** Denn Niederschläge versickern weniger schnell, fließen deshalb in beträchtlichem Maß oberflächlich ab und reißen den Boden mit.
- ▶ Wissenschaftler fordern eine **gesetzliche Begrenzung der Gewichte** und Achslasten von land- und forstwirtschaftlichen Maschinen.

Wenn Regenwasser nicht versickert

Ein verdichteter Grund lässt Wasser schlechter versickern, denn darin ist für Wasser leitende Poren weniger Platz. Durch Pflügen wird zwar die obere Bodenschicht, die Krume, immer wieder gelockert, und auch die Bodenorganismen können dann darin ihr Werk verrichten.

Doch ein einmal zusammengepresster Unterboden lockert sich von allein praktisch nicht wieder, zumindest nicht wesentlich innerhalb von ein paar Jahren oder Jahrzehnten. Die Folgen sind nach starkem Regenfall Staunässe in der Krume und stehendes Wasser auf der Oberfläche. Bei Hangneigung fließt das Wasser entweder oberflächlich oder auch auf der Pflugsohle innerhalb der Krume verborgen talwärts. Einst erstklassige Ackerböden lassen heute pro Zeiteinheit höchstens noch ein Zehntel bis Hundertstel der Wassermenge versickern, die in einem ursprünglichen, lockeren Waldboden versickern würde. Selbst ein Tausendstel kommt vor.

Dazu ein vereinfachtes Rechenbeispiel für das Dezemberhochwasser von 1993 am Rhein, das die Kölner Altstadt unter Wasser setzte:

Am 19. Dezember 1993 fielen in Teilen des Saarlands 42 Millimeter Regen, am 20. Dezember nochmals 54 Millimeter. Vermutlich war der Boden, wie oft in dieser Jahreszeit, schon vorher bis zur Feldkapazität wassergefüllt. Das heißt, er enthielt die Wassermenge, welche die Kapillarkräfte der Bodenpartikel halten können – das Wasser, das praktisch nie (oder nur ganz langsam) versickert. Von den 42 Millimetern des 19. 12. konnte der Boden etwa ein Drittel (15 Millimeter) zusätzlich fassen, bis alle Poren wassergefüllt waren. Die restlichen zwei Drittel hätten dann entweder ins Grundwasser einsickern oder oberflächlich abfließen können.

Angenommen, die Bodenverdichtung war lediglich mittelstark und das Porenvolumen betrug 40 Prozent. In diesem Fall wäre das überschüssige Wasser am ersten Tag bei einer Durchlässigkeit von 2,7 Zentimeter pro Tag unter Umständen gänzlich eingesickert. Doch bei einer höheren Verdichtung hätte ein Großteil des überschüssigen Wassers nicht versickern können. Es wäre oberflächlich abgeflossen. Bei einem Porenvolumen von nur 38 Prozent (Durchlässigkeit 1 Zentimeter pro Tag) wären das schon 17 Millimeter oder 17 Liter pro Quadratmeter gewesen. Am 20. 12. hätte dieser stärker verdichtete Boden, nun wassergesättigt, gar keinen Regen mehr speichern können. An diesem Tag wären nur 10 Liter pro Quadratmeter versickert. 44 Liter pro Quadratmeter wären von der Bodenoberfläche direkt in die Zuflüsse des Rheins geleitet worden.

Erfahrungsgemäß liegen die Abflusswerte sogar höher, denn durchnässter Boden verliert seine innere Stabilität gegenüber aufschlagenden Regentropfen. Er verschlämmt und büßt offene, Wasser leitende Poren direkt an der Bodenoberfläche ein.

▷ verkannt oder sind teils noch unzureichend erforscht.

So versuchen inzwischen Konstrukteure von Landmaschinen, Schäden zu begrenzen, indem sie das Gewicht der schweren Fahrzeuge auf breitere Reifen und mehr Achsen verteilen und den Reifendruck mindern, um die Aufstandsfläche zu vergrößern. Es gibt Trecker mit Doppelbereifung und Erntefahrzeuge, die spurversetzt im »Hundegang« über das Feld fahren. Der Reifeninnendruck lässt sich während der Fahrt regulieren, was erlaubt, die Aufstandsfläche an ver-

schiedene Erfordernisse anzupassen. Nur hilft das alles wenig, wenn die Fahrzeuge dabei erstens immer schwerer werden beziehungsweise wenn man damit zweitens wegen der breiteren Reifen auf nasserem Böden fahren kann als früher.

Druckzwiebeln breiter Reifen

Die Belastung für die Böden hat trotz solcher Maßnahmen in den vergangenen Jahrzehnten immerfort zugenommen, das lässt sich eindeutig nachweisen. Dass breitere Reifen die Gefahr der Bodenverdichtung nicht bannen, hängt mit den

entsprechend breiteren und damit auch tieferen Druckzwiebeln im Boden unter den Rädern zusammen (den Linien gleichen Drucks, die sich ungefähr halbkreisförmig unter dem Rad im Boden ergeben).

Diese Druckzwiebeln kennzeichnen die Druckausbreitung im Boden. Der aufgebrauchte Druck ergibt sich aus der Radlast bezogen auf die Aufstandsfläche. Schwer verständlich erscheint selbst manchem Fachmann der folgende Sachverhalt: Verteilt man ein höheres Gewicht auf eine größere Aufstandsfläche, sodass der aufgebrauchte Druck unverändert bleibt, kann der Verdichtungseffekt für die obere Krume zwar gleich bleiben. Doch die tiefe Krume und der Unterboden werden mehr belastet, weil sich die Druckzwiebeln unter dem breiteren Reifen stärker zur Tiefe fortpflanzen (siehe Bild im Kasten S. 83).

Mit anderen Worten: Bei vermehrter Radlast werden die Druckzwiebeln größer und reichen damit auch tiefer. Aber selbst bei gleichem Kontaktflächendruck ziehen die Linien gleichen Drucks bei einem doppelt so breiten Reifen infolge erhöhter Radlast etwa doppelt so tief in den Boden. Man darf also nicht meinen, man müsse nur die Last auf mehr Fläche verteilen, dann dürften die Maschinen selbst schwerer sein. Und ein darüber hinaus noch weiter gesteigerter Druck pro Fläche – wie in der Praxis oft der Fall – bewirkt rasch noch tiefer reichende Druckzwiebeln. Dieser Zusammenhang wird oft verkannt.

Immer mehr Landwirte verzichten inzwischen auf das Pflügen. Sie arbeiten stattdessen flacher mit Grubber und Kreiselegge, die nichtwendend, eher bröckelnd-mischend in den Bodenverband eingreifen. Diese schonendere Bearbeitung, bei der eine Mulchschicht mit organischen Reststoffen an der Oberfläche verbleibt, belebt die Krume, fördert unter anderem die Regenwürmer und macht den Acker tragfähiger. Die Pflugsohle wird nicht weiter verstärkt. Allerdings ist auch hierbei der Unterboden gefährdet, wenn wirklich schwere Maschinen zum Einsatz kommen. Der Pflugsohlenbildung versuchen Landwirte auch durch »Onland-Pflügen« vorzubeugen. Dabei laufen alle Räder vor dem Pflug noch auf dem festen Boden.

Nicht nur aus pflanzenbaulichen, sondern auch aus ökologischen Gründen bereitet die zunehmende Verdichtung

des Ackerbodens Sorge. Denn sie hat nicht zuletzt erhebliche Folgen für seine Wasserführung. Im Nahbereich wirkt sich das auf den Acker selbst aus, im Fernbereich auf die Gewässer, die von den Feldern gespeist werden – somit letztlich auf Bäche, Flüsse und Küsten.

Die verdichteten Zonen können wegen ihres verringerten Porenvolumens weniger Wasser speichern als ein unbelasteter Boden. Auch leiten sie das Wasser langsamer in die Tiefe und zum Grundwasser. Die Pflanzen leiden in nassen Jahren an Staunässe und in trockenen an Wassermangel, der dadurch verschärft wird, dass das Tiefenwachstum der Wurzeln wegen des hohen Durchdringungswiderstands behindert ist.

Zu trocken im Sommer

Ein Extremjahr, das dies gut belegt, war 2003 mit seinem besonders trockenen, dazu ungewöhnlich heißen Sommer. Damals verzeichneten die Neuen Bundesländer, so Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg, wesentlich größere Ernteschäden als Niedersachsen bei ähnlicher Witterung. An sich verwundert das nicht, denn wegen der Landwirt-

▶ Ab dreißig Zentimeter Tiefe ist dieser Lössboden massiv verdichtet – zu stark für Ackerkulturen. Die auf ihm angebaute Wintergerste durchwurzelte Ende Mai, als dieses Profil genommen wurde, lediglich die lockere Krume.

schaftspraktiken in der DDR – Bearbeitung großer Felder mit schweren Maschinen – sind weite Ackerflächen Ostdeutschlands ziemlich stark verdichtet.

In regenreichen Jahren steht das Wasser, weil es nur langsam versickern kann, häufig bis zur Bodenoberfläche, was das Wurzelwachstum einschränkt. Auch bleibt ein verdichteter Boden im Frühjahr länger nass und kalt und vernässt bei starken Niederschlägen eher. Beides kann die Wachstumsperiode wesentlich verkürzen, das Pflanzenwachstum benachteiligen und auch die Arbeitszeiten des Landwirts einschränken sowie Aussaat und Ernte erschweren.

Zugleich verzögert zu viel Nässe den Abbau von Ernteresten, die Humusbildung sowie gegebenenfalls den Umsatz von Gründümpflanzen, denn den



WILFRIED EHLERS

dafür wichtigen Organismen fehlt der Sauerstoff. Die verminderte Stickstofffreisetzung versucht der Landwirt durch höhere Düngergaben auszugleichen. Gegen bestimmte Ungräser, die auf nasskalten Böden im Vorteil sind, geht er mit mehr Herbiziden vor. Die strukturschädigten Böden fördern auch manche Wurzelkrankheiten von Kulturpflanzen. Wundert es angesichts solcher Erschwerisse, dass die Bauern zunehmend Mühe ▶



THEO MÄHNER

Immer mehr bestes Ackerland bietet in nassen und kalten Monaten solch ein Bild. Im verdichteten Boden kann die Nässe nicht genügend versickern.

▷ haben, zuverlässig gute Ernten mit ökonomischem Erfolg einzufahren?

Die spektakulärsten Fernwirkungen betreffen Hochwasserkatastrophen. In jüngster Zeit ereigneten sich »Jahrhunderthochwasser« an Rhein, Elbe, Oder, Donau nicht selten im Abstand weniger Jahre. Unbestritten ist, dass die verdichteten Böden unserer intensiv bearbeiteten Kulturlandschaft die verheerenden Überschwemmungen begünstigen und verstärken. Denn dadurch finden Schneeschmelze und Niederschläge schneller den Weg in die Flüsse.

Dass viele Wasserläufe begradigt und eingezwängt wurden, dass es immer weniger Auenlandschaften und Niederungen gibt, die das Wasser eine Zeit lang auffangen, beschleunigt den Prozess nur. Man muss berücksichtigen: Sogar der Waldboden, der vielen als ein Was-

serspeicher schlechthin gilt, ist durch Bewirtschaftung mit schweren Fahrzeugen bereits verdichtet und wird es weiterhin. Folglich kann auch er seine Wasserspeicherfunktion oft nicht mehr so gut erfüllen wie noch vor wenigen Jahrzehnten. Sorge ist wahrlich angebracht.

Es sollte nachdenklich machen, dass der Rhein nach Regenfällen gleichen Ausmaßes heute wesentlich mehr Wasser führt als in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Sein Scheitelabfluss, die durchströmende Wassermenge pro Zeiteinheit, hat nach Starkregen um über 20 Prozent zugenommen. Auch an der Elbe ist der Scheitelabfluss bei Hochwasser heute höher als früher, und zwar besonders in landwirtschaftlich geprägten Gebieten.

In der Regel treten heutzutage in Deutschland große Flüsse über die Ufer, wenn in ihrem Einzugsgebiet auf zehntausend Quadratkilometern oder mehr binnen weniger Wochen mindestens 200 Millimeter Regen fallen. Ein Beispiel: Beim »Weihnachtshochwasser« von 1993, das die Altstadt von Köln überflutete (bei einem Pegelstand von 10,63 Meter), gab es in Südwestdeutschland, Hessen und Nordrhein-Westfalen vielerorts mehr als dreimal soviel Regen wie sonst im De-

zember. Stellenweise waren es allein am 19. und 20. Dezember 100 Millimeter und etwas mehr (also gut 100 Liter pro Quadratmeter, siehe auch Kasten S. 84).

Sicher – moderne Landwirtschaftspraktiken sind an der Misere nicht allein Schuld. Ergiebige Niederschläge nehmen zu, das ist unbestreitbar. In Rheingebiet südlich von Köln beispielsweise wurde von 1900 bis 1950 nur viermal über 200 Millimeter Niederschlag binnen 30 Tagen verzeichnet, in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts 17-mal. Davon fielen auf die 1980er Jahre vier Ereignisse, auf die 1990er fünf, insgesamt also über die Hälfte.

Hochwasserbedrohung steigt durch Bodenverdichtung

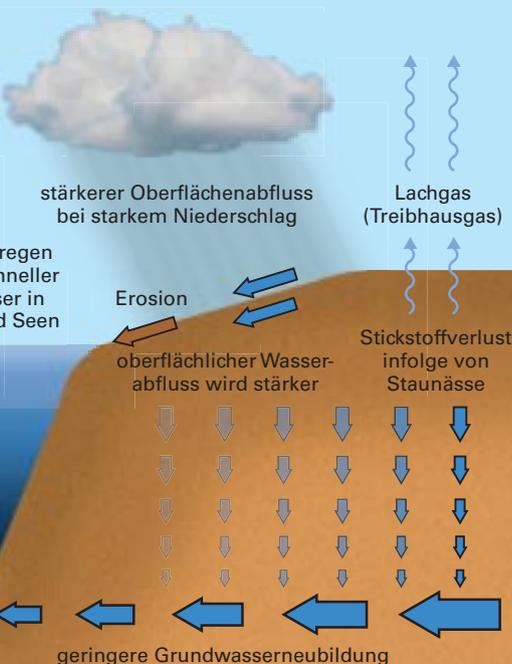
Zu den gehäuften Hochwasserereignissen trägt auch die Ausdehnung der besiedelten und damit weit gehend versiegelten Fläche bei. In der alten Bundesrepublik betraf das 1951 noch 7,4 Prozent des Landes, 1989 schon 12,2 Prozent, was zusätzlich 1,2 Millionen Hektar bedeutet, auf denen Niederschlag nicht versickern kann, sondern oberflächlich abfließt.

Ein weiterer Faktor ist die großflächige Umwandlung von Grünland in

▷ Dass unnatürlich verdichtete Böden die Landwirtschaft belasten, ist nur die eine Seite. Denn inzwischen wirkt sich das auch auf die großen Kreisläufe aus – bis hin zur Hochwassergefahr und Klimaerwärmung.

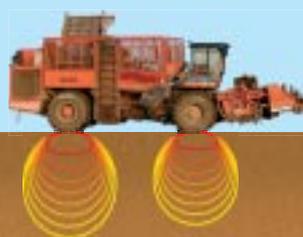
Schäden durch zunehmende Bodenverdichtung

Gefahren für die Umwelt



Erschwernisse im Pflanzenanbau

schwere Landmaschinen verdichten den Ackerboden



schlechteres Wachstum weniger Ertrag

mehr Pilzbefall mehr Unkraut



Bodenleben leidet
schlechtere Bodengare

weniger Wurzeln (weniger dicht und tief)

Bodenqualität nimmt durch stärkere Verdichtung ab:

- ▶ Porenvolumen wird kleiner
- ▶ Boden ist schlechter durchlüftet
- ▶ Wasser versickert schwerer
- ▶ Boden bleibt lange nass (bleibt im Frühjahr lange kalt, verschlämmt)
- ▶ Boden kann weniger Wasser speichern

Auswirkung auf Bewirtschaftung:

- ▶ Land ist schwerer zu bearbeiten, höherer Treibstoffverbrauch
- ▶ Saison ist durch Vernässung und kühleren Boden kürzer, weniger günstige Feldarbeits-tage
- ▶ mehr Dünger ist erforderlich

ART FOR SCIENCE / SPECTRUM DER WISSENSCHAFT, NACH: WILFRIED EHLERS UND RAINER HORN



Ackerfläche. Allein zwischen 1965 und 1985 gingen dadurch in Westdeutschland 1,5 Millionen Hektar Wiesen und Weiden verloren – etwa ein Drittel der Fläche Niedersachsens. Weiden und besonders Wiesenböden mit ihrer ganzjährig geschlossenen Grasnarbe nehmen wegen ihrer lockeren und dennoch stabilen Struktur Regen und Schmelzwasser viel leichter auf als Äcker.

Zudem wurden Acker- und Grünland durch künstliche Dränung technisch entwässert. Allein in Westdeutschland hat man seit dem Zweiten Weltkrieg über vier Millionen Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche dräniert. Das brachte zwar in nassen Jahren weniger Ernteverluste und erleichterte den Bauern die Bearbeitung des Landes auch nach Regenfällen. Doch erfüllen solche Böden bei starkem Niederschlag ihre Speicherfunktion nur unzureichend.

Trotzdem sehen wir und viele unserer Kollegen die größte Hochwasserbedrohung, die von landwirtschaftlichen Flächen ausgeht, in der Bodenverdichtung insbesondere durch die modernen Ackerbaumethoden. Immerhin gut die Hälfte der Landfläche Deutschlands – 54 Prozent waren es im Jahr 2000 – wird noch heute unter anderem für Äcker und Weiden genutzt. Davon dienen fast 70 Prozent als Acker- und knapp 30 Prozent als Grünland. Das bedeutet: Deutschland ist nach wie vor ein Agrarland, auch wenn die landwirtschaftlich genutzte Fläche mit der Zeit etwas kleiner geworden ist.

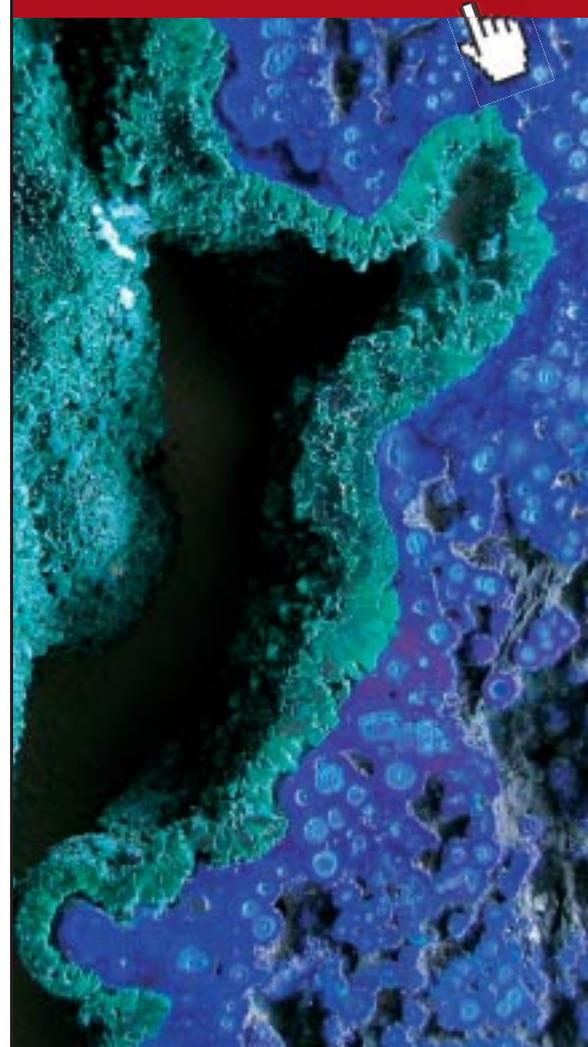
Nur am Rand erwähnt seien andere unerwünschte wirtschaftliche und ökologische Folgen, wenn Regenwasser vermehrt oberflächlich vom Acker fließt.

Zu den bedeutendsten gehört die Erosion, weil dabei fruchtbare Krume verloren geht, die stattdessen Wege und Gewässer verschlammt. Dadurch gelangen Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel ungefiltert in Bäche und Seen. Die Auswirkungen reichen von der Algenblüte bis hin zum Fischsterben. Und die Kehrseite: Weil sich die Grundwasserspeicher weniger auffüllen, sinkt der Spiegel der Bäche und Flüsse in heißen, trockenen Monaten eher. Über die gesamte Vegetationszeit gesehen haben die Ackerpflanzen weniger Wasser zur Verfügung.

Fehler verstärken Klimawandel

Nicht zuletzt dürfte die Bodenverdichtung über die ökologischen und Klimakreisläufe wenn nicht die Mengen, dann doch die Intensität der Niederschläge antreiben helfen, bilden nasse Böden doch vermehrt Lachgas – Distickstoffoxid –, eines der wirksamsten Treibhausgase. Dessen Freisetzung in die Atmosphäre schreiben Forscher zu rund einem Drittel der Landwirtschaft zu. Zur globalen Erwärmung dürfte Lachgas etwa 6 Prozent beitragen. Seine Emission scheint weltweit zu steigen, und Länder wie Deutschland nehmen hierbei pro Flächeneinheit eine Spitzenposition ein, weil sie sowohl die Verdichtung der Böden vorantreiben als auch viel Stickstoffdünger einbringen. Experten schätzen den Anteil der Landwirtschaft an der globalen Erwärmung durch alle einfließenden Faktoren auf inzwischen rund 15 Prozent.

Maschinen, die den Menschen die harte Feldarbeit abnehmen, waren immer gern gesehen. Die zunehmende Rationalisierung der Arbeitsgänge durch ▷

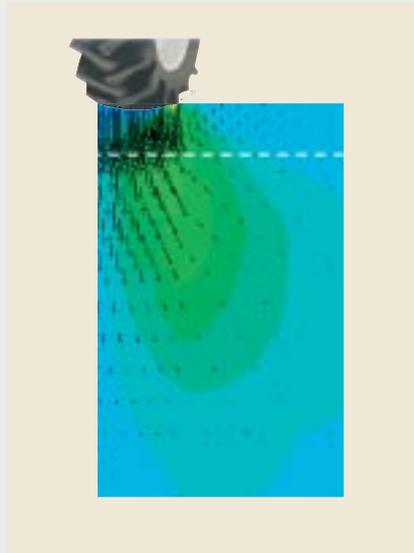


spektrumdirekt
Die Wissenschaftszeitung im Internet

Die Redaktion von **spektrumdirekt** informiert Sie online schnell, fundiert und verständlich über den Stand der Forschung.



Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.



GRAFIK: RAINER HORN

Besonders bei nassem Boden stauen schwer belastete Reifen die festen Bodenteilchen zusammen und verringern so das Volumen der Poren. Wie auf der eingefügten Grafik beispielhaft dargestellt, werden die Partikel nicht nur senkrecht mehr zusammengepresst, sondern zusätzlich durch den Schlupf der Räder beim Fahren verschmiert.

▷ Mähdrescher und andere Erntegeräte, die mehrere Schritte auf einmal erledigen, erschien vorteilhaft. Die besprochenen Nebenwirkungen der Entwicklung wurden erst langsam sichtbar.

Wie ließe sich zumindest eine weitere Verschlechterung unserer Bodenverhältnisse verhindern? Zu hoffen, man könnte die technischen Neuerungen der letzten Jahrzehnte in der Landwirtschaft rückgängig machen, ist sicherlich utopisch. Allein schon aus Gründen der Rentabilität hat sich in unserer Gesellschaft Ackerbau mit schlagkräftigem Gerät und geringerer Arbeitskraft eingespielt. Im Prinzip wäre es technisch möglich, die verdichteten Böden durch tieferes Pflügen wieder aufzulockern. Langjährige Erfahrungen zeigen aber, dass ein Acker nach Tiefflockung beim nächsten Befahren besonders schnell wieder rückverdichtet und der Zustand hinterher eher schlimmer ist als vorher. Nun hielte der Boden keiner der vorhandenen Maschinen mehr stand.

Hohe Folgekosten

Allerdings sollten wir anstreben, dass sich die Situation nicht noch mehr verschärft. So rasch wie möglich müssen wir Kompromisse finden, um wenigstens den jetzigen Zustand der Böden zu bewahren. Das bedeutet Umdenken – ein Prozess, der bei vielen schon eingesetzt hat. Wen die rein ökologischen Gesichtspunkte nicht überzeugen, der sollte sich die ökonomische Seite klar machen: die gesamtwirtschaftlichen Folgekosten von Hochwasser- und Klimakatastrophen, die steigenden Ausgaben für Hochwasserschutz, die Folgekosten von Boden-erosion und Ernteausfällen. Allein die

Schäden einer Überschwemmung wie in diesem Jahr wieder an der Elbe gehen in die Milliarden.

Deutschland gehört zu den 170 Staaten, die 1992 auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro die Agenda 21 unterzeichnet haben. Das Aktionsprogramm der Vereinten Nationen gibt jedem Land das Recht, seine Ressourcen zu nutzen, mit der Einschränkung, dass dabei für zukünftige Generationen eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet ist. Das gilt auch für den Boden, für die äußerst verletzte, dünne Haut dieser Erde. Ohne sie gäbe es kein höheres Leben und keine landwirtschaftliche Produktion.

In diesem Sinn wurde 1998 das Bundes-Bodenschutzgesetz verabschiedet. Es verpflichtet dazu, bei Eingriffen die Bodenfunktionen zu sichern oder wieder herzustellen sowie Schäden vorzubeugen. Jedoch sind die konkreten Ausführungsbestimmungen unzureichend. Der betreffende Paragraph für die landwirtschaftliche Bodennutzung verweist auf die so genannte gute fachliche Praxis. Doch darunter verstehen Landwirte und Grundbesitzer bisher vorrangig betriebswirtschaftliche Aspekte wie ökonomische, kostengünstige Arbeitsabläufe.

Dringender als je zuvor brauchen wir eine gesetzliche Regelung, die Achslast und Gesamtgewicht von Landmaschinen begrenzt. Bodenkundler fordern zum Beispiel, als höchste zulässige Last pro Rad nicht mehr als etwa fünf Tonnen zu erlauben, auch nicht bei voll beladenen Erntemaschinen. Nasse Äcker dürften selbst damit nicht befahren werden. Die Arbeiten sollten wieder mehr am Wetter

und der aktuellen Feuchtigkeit des Felds ausgerichtet sein, nicht an der technischen Durchführbarkeit.

Nicht allein Arbeitserleichterung und Produktionsverbilligung dürfen die Entwicklung bestimmen. Die nachhaltige Nutzbarkeit und die Bewahrung ökologischer Funktionen der Agrarflächen müssen wieder mehr ins Blickfeld rücken. Das sind wir nicht nur uns, sondern auch nachfolgenden Generationen schuldig. Bodenschutz ist nicht allein ein Anliegen der Landwirte und Grundbesitzer, sondern der gesamten Bevölkerung. ◁



Rienk R. van der Ploeg (links) hatte zuletzt am Institut für Bodenkunde der Universität Hannover die Professur für Bodenphysik inne. Er starb im Herbst 2005. Er war einer der Hauptinitiatoren dieses Artikels. **Wilfried Ehlers** (Mitte) war bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2004 Professor für Acker- und Pflanzenbau am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen. **Rainer Horn** ist Professor für Bodenkunde am Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel.

Unser Acker – durch schwere Landmaschinen gefährdet. Video-Film des IWF, Wissen und Medien (früher Institut für den Wissenschaftlichen Film), Göttingen

Böden werden zu schwer belastet. Von Wilfried Ehlers in: Land & Forst. 22.4. 2004, S. 17

Bodenverdichtung durch Landmaschinen. Ein Paradigmenwechsel ist nötig. Von K. H. Hartge et al. in: Zuckerrübe, Bd. 52, Heft 6, 2003, S. 299

Landschaftshydrologische und Hochwasser relevante Aspekte der ackerbaulichen Bodenbewirtschaftung in der deutschen Nachkriegszeit. Von R. R. van der Ploeg et al. in: Berichte über Landwirtschaft, Bd. 79, Heft 3, 2001, S. 447

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.