

Bodenpotenziale nutzen



www.alb-bayern.de/bef13

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Dr. Markus Demmel, Florian Ebertseder, Dr. Klaus Fleißner, Anita Oberneder, Lisa Stocker, Roswitha Walter, Dr. Martin Wiesmeier
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Stephan Obermeier, Anton Weig
Amt für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten

Wolfgang Ehbauer
Regierung von Unterfranken

Hubert Weidner
Bayerisches Landesamt für Umwelt

Foren der ALB Bayern e.V.

Die ALB ist neutral und handelt als Mittler und Bindeglied zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Forschung, Umwelt, staatlicher Verwaltung, Gewerbe und Industrie.

Arbeitsblätter, Beratungsblätter, Praxisblätter, Infobriefe, Leitfäden und Fachinformationen werden in den Foren der ALB erarbeitet.

Die Foren, denen Fachleute der jeweiligen Sachgebiete angehören, sind Expertenausschüsse zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung.

Foren der ALB Bayern e.V.:

- ▶ Bau Forum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF)
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL

Partner



Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Impressum

Herausgeber Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon 08161 / 887-0078

Telefax 08161 / 887-3957

E-Mail info@alb-bayern.de

Internet www.alb-bayern.de

1. Auflage 06/2023

© ALB Alle Rechte vorbehalten

Titelfoto Robert Brandhuber, LfL

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung.....	4
2. Grundlagen für das Wasserhaltevermögen.....	4
3. Bodenverdichtungen konsequent vermeiden	5
4. Bodenbearbeitung anpassen	6
5. Regenwürmer fördern.....	8
6. Auf die Kalkversorgung achten.....	11
7. Humusgehalte erhalten oder steigern.....	11
8. Zwischenfruchtsysteme anpassen.....	13
9. Agroforstsysteme und Landschaftsstrukturen nutzen.....	15
10. Bewertung des Bodenzustandes	16
11. Kulturen diversifizieren.....	18
12. Literaturverzeichnis	20

1. Einleitung

In den vergangenen Jahren zeigte sich der Klimawandel einerseits in Form von Starkregenereignissen, die zur Abschwemmung von fruchtbarem Boden führten. Andererseits traten länger anhaltende Trockenperioden immer häufiger auf. Die daraus resultierende Wasserknappheit wird zu einem realen Problem, dem mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden muss. Wo Bewässerungsmöglichkeiten fehlen oder die Bewässerung nicht ökonomisch angewendet werden kann, muss nach anderen praktikablen Lösungen gesucht werden. Ein intaktes Boden-

gefüge ist dabei eine essenzielle Voraussetzung, um Trockenperioden überbrücken zu können. Eine gute Bodenstruktur und -fruchtbarkeit kann vieles leisten: Sie liefert höhere Erträge mit guter Qualität bei gleichem Faktoreinsatz, ist Lebensraum für zahlreiche Organismen, absorbiert schädliche Einträge, baut organisches Material ab, setzt Dünger in verfügbare Nährstoffe um und verbessert das Wasserhaltevermögen. Doch wie müssen die Böden in ihrer Beschaffenheit sein und bestellt werden, um diese Leistungen auch in Zukunft zu erbringen?

2. Grundlagen für das Wasserhaltevermögen

Regen, der auf die Bodenoberfläche trifft, läuft entweder oberflächlich ab und erzeugt so Erosion oder dringt in die unterschiedlich großen Poren des Bodens ein. Je nach Bodenart ist die Porenzusammensetzung anders. Man unterscheidet zwischen drei Porenarten: Grobporen, Mittelporen und Feinporen. In den weiten Grobporen kann die Feuchtigkeit nicht entgegen der Schwerkraft im Boden gehalten werden. Böden mit hohem Grobporenanteil wie Sandböden neigen daher eher zum Austrocknen.

In Tonböden hingegen ist der Anteil an Feinporen hoch. Hier liegt ein sehr feines Porensystem vor, wodurch viel Wasser aufgrund von Adsorptions- und Kapillarkräften entgegen der Schwerkraft gebunden werden kann. Je nach Porengröße wirken diese Kräfte stärker oder weniger stark. Dies bedingt, dass Pflanzen das Wasser aus den Feinporen nicht mehr nutzen können, da die Saugkraft ihrer Wurzeln nicht ausreicht, um das Wasser herausziehen zu können. Es ist als sogenanntes Totwasser im Boden gebunden.

Das pflanzenverfügbare Wasser hingegen, das gegen die Schwerkraft im Boden gespeichert werden kann, wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet. Es wird überwiegend in engen Grobporen und den Mittelporen gespeichert.

Auch der Humusgehalt hat einen wesentlichen Einfluss auf das Wasserhaltevermögen. Die organische Bodensubstanz ist nicht nur für die Nährstoffversorgung der Pflanzen wichtig, sondern auch für die Ausbildung eines stabilen Bodengefüges, was mit einer Zunahme des Porenvolumens und einer günstigen Porenverteilung verbunden ist. Dadurch kann der Boden mehr pflanzenverfügbares Wasser speichern.

GRUNDSATZ

Für ein hohes Wasserhaltevermögen sind eine intakte, ungestörte Bodenstruktur und ein hoher Humusgehalt von entscheidender Bedeutung.

Weitere Informationen hierzu finden Sie unter folgenden Links:

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031060/index.php>

https://www.vhe.de/fileadmin/vhe/pdfs/Publikationen/Vortraege/2018/2018_11_08_Schneider_Wasserhaltefaehigkeit_Kaltenengers.pdf



3. Bodenverdichtungen konsequent vermeiden

Der Schlüssel zu einer hohen Wasserspeicherfähigkeit des Bodens ist ein intaktes Bodengefüge. Eine gute Struktur ist erkennbar an einem lockeren, hohlraumreichen Krümelgefüge. Wird dieses gestört, so kommt es zu Verdichtungen mit negativen Auswirkungen auf die Porengröße und -verteilung im Boden und damit auf die Wasserhaltefähigkeit des Bodens. Ein wesentlicher Beitrag zum Erhalt eines funktionsfähigen Bodengefüges ist die konsequente Vermeidung von Bodenschadverdichtungen. Dies kann nur durch eine angepasste Bewirtschaftung erreicht werden:

- ▶ Tragfähigkeit der Böden verbessern
- ▶ Befahren zu feuchter Böden vermeiden
- ▶ Reifeninnendruck anpassen
- ▶ Niedrigere Radlasten bevorzugen
- ▶ Fahrwerke mit großer Aufstandsfläche nutzen
- ▶ Schlupf minimieren

Der Bodendruck in 10 cm Tiefe entspricht in etwa dem Reifeninnendruck (Abb. 1). Wird der Reifeninnendruck erhöht, nimmt nicht nur der Bodendruck, sondern auch die Tiefenwirkung zu und gleichzeitig die Aufstandsfläche ab. Analog verläuft dies bei einer Verdoppelung der Radlast bei gleicher Aufstandsfläche (Abb. 2). Eine Verdoppelung der Aufstandsfläche führt zu gleichem Bodendruck, aber größerer Tiefenwirkung (Abb. 3). Für eine Reduzierung der Tiefenwirkung sind überproportional große Reifen notwendig. Eine Alternative dazu ist die Verteilung der Last auf mehrere Achsen mit einer Absenkung des Reifeninnendruckes oder der Einsatz von Raupenlaufwerken.

In der VDI-Richtlinie 6101 „Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden“ sind folgende Richtwerte für den maximalen Reifeninnendruck angegeben:

- ▶ 1 bar auf lockerem oder feuchtem Acker
- ▶ 2 bar auf abgesetztem oder trockenem Acker

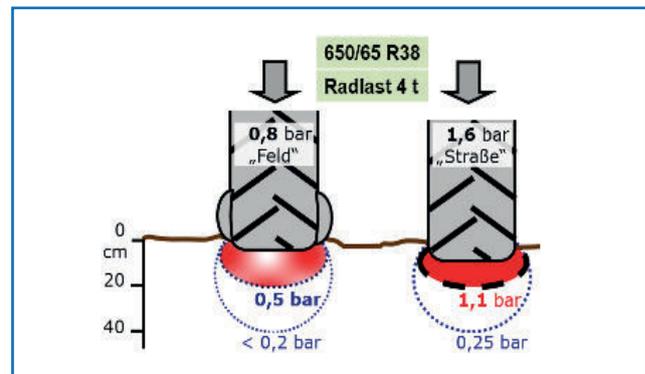


Abb. 1: Druckverteilung bei unterschiedlichem Reifeninnendruck

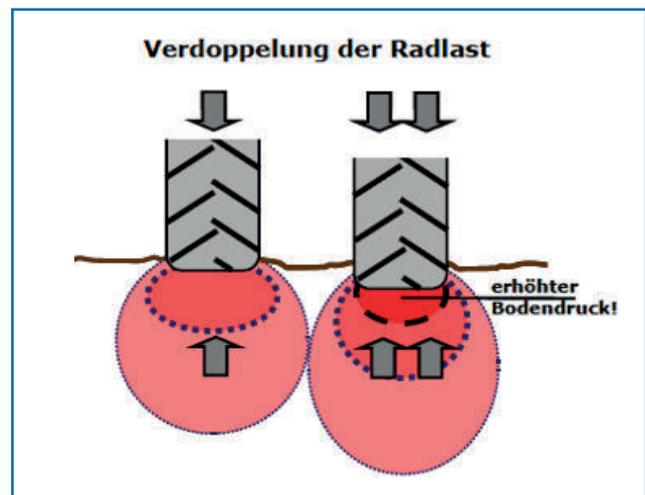


Abb. 2: Verdoppelung der Radlast bei gleicher Aufstandsfläche

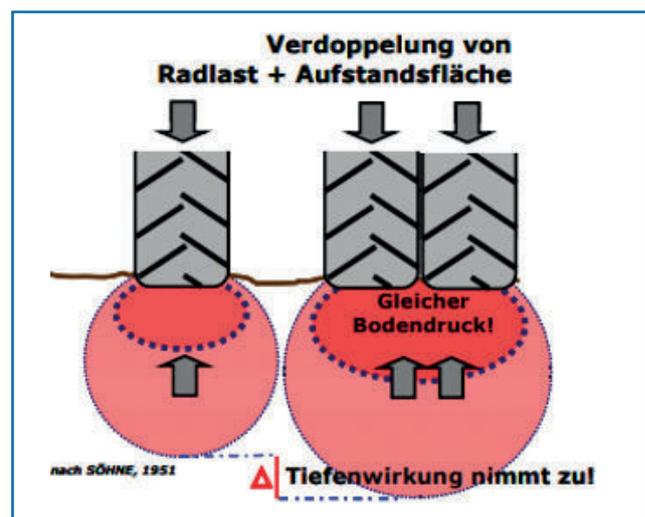


Abb. 3: Verdoppelung der Radlast und Aufstandsfläche

Quelle Abb. 1-3: Brandhuber, R. et al. 2008

Die Folge von Bodenverdichtung ist die Zerstörung vor allem der Grob- und auch der Mittelporen, die die Sauerstoff- und Wasserversorgung im Boden gewährleisten. Durch die Veränderung des Porenvolumens ist die Infiltrationsleistung des Bodens gestört, Wasser fließt oberflächlich ab und schwemmt wertvollen Humus ab. Eine Schadverdichtung tritt dann auf, wenn die Bodenfunktionen gestört sind und dadurch das Pflanzenwachstum gehemmt ist sowie erste Ertragseinbußen auftreten.

Links zu weiterführenden Informationen:

DLG-Merkblatt 344, Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/boden_dlg_merkblatt.pdf



https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn057186.pdf

Bodenfeuchteviewer: https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/5_bofeueview/node.html



Terranimo: <https://ch.terranimo.world>



Die Anwendung „Terranimo“ ermöglicht eine Abschätzung der Befahrbarkeit von Böden. Es handelt sich hierbei um ein frei zugängliches Simulationsmodell für die Berechnung des Verdichtungsrisikos in 35 cm Bodentiefe beim Einsatz von landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Das Programm berücksichtigt neben Bodenart und Bodenfeuchte auch weitere relevante Faktoren wie Maschinengewicht und Bereifung.

4. Bodenbearbeitung anpassen

Die Bodenbearbeitung hat einen großen Einfluss auf die Bodenstruktur. Sie ist notwendig, um Verdichtungen zu beseitigen, die entweder durch natürliche Prozesse oder aufgrund der Bewirtschaftung entstanden sind. Sie greift aber auch die durch biologische Prozesse entstandene Bodenstruktur an und zerstört dabei die durchgehenden Porensysteme. Das Ergebnis ist oftmals ein überlockerter, instabiler Boden. Zudem verdunstet durch jede Bodenbearbeitungsmaßnahme bei entsprechender Witterung Bodenwasser. Wie muss also die Bodenbearbeitung durchgeführt werden, um die Bodenstruktur zu optimieren und das Wasserhaltevermögen des Bodens zu erhöhen? Oberste Prämisse ist die Vermeidung nicht notwendiger Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Sowohl die Arbeitstiefe als auch die Anzahl der Maßnahmen sind so weit wie möglich zu reduzieren. Das spart auch Treibstoff (Diesel).

Eine Schlüsselrolle nimmt hier die konservierende Bodenbearbeitung ein. Grundsätzlich wird bei diesem Verfahren die übliche Intensität (Anzahl und Tiefe) der Bearbeitung reduziert, was

die bodenbiologischen Prozesse fördert, das Porensystem schützt und dadurch die Bodenstruktur verbessert. Damit einhergehend werden Pflanzenreste und Zwischenfrüchte nicht oder nur oberflächlich eingearbeitet, wodurch der Boden vor Verdunstung geschützt und die biologische Aktivität des Bodens weiter gefördert wird. Regenwasser kann schneller in den Poren versickern, infolgedessen kann Oberflächenverschlammung und Erosion verhindert und mehr Wasser im Boden gespeichert werden.

Ein Beispiel für die komplexen Zusammenhänge zwischen Bodenbearbeitung, Bodenbedeckung und Bodenwasserhaushalt liefern Ergebnisse einer umfangreichen Untersuchung zu den Effekten der Stoppelbearbeitung (Pekrun et al. 2011). In dem Versuch zeigte sich, dass am meisten Bodenwasser konserviert wurde, wenn das Stroh gehäckselt auf den Stoppeln verblieb und keine Stoppelbearbeitung erfolgte. Falls das Stroh hingegen abgefahren wurde, hatte eine flache Stoppelbearbeitung eine positive Auswirkung aufgrund der Unterbrechung des kapillaren Wasseraufstiegs.



Bild 1: Mulchsaatverfahren im Mais,
Quelle: A. Weig



Bild 2: Verbliebenes Mulchmaterial auf der Oberfläche im
Maisbestand Mitte Juni, Quelle: L. Stocker

Eine intensive Bodenbearbeitung führt besonders auch mit Pflugeinsatz und mehrmaligen Überfahrten zur Saatbettbereitung zu einem erhöhten Erosionsrisiko. Die Energie von auftreffenden Regentropfen kann die ungeschützten Bodenkrümel in feinstes Bodenmaterial zerlegen, welches in der Folge die wasserführenden Poren des Bodens verstopft. Das Wasser kann nicht mehr einsickern, sondern fließt oberirdisch ab und reißt durch seine Bewegungsenergie wertvollen Boden mit. Durch die konservierende Bodenbearbeitung hingegen sind die Bodenaggregate bei starken Niederschlägen stabiler und durch die Mulchschicht vor dem direkten Aufprall der Tropfen geschützt. Somit kann Oberflächenverschlammung sowie Erosion vermindert werden. Mit Hilfe eines Regensimulators kann dieser Effekt deutlich veranschaulicht werden.

Ebenso wirkt sich der Anbau von geeigneten Zwischenfrüchten stark positiv auf die Bodenstruktur aus. Einerseits wird durch die Bodenbedeckung das Austrocknen der Krume (Schattengare) sowie der Abtrag durch Erosion begrenzt, andererseits wird durch das Wurzelsystem der Zwischenfrüchte der Boden tiefgründig gelockert und wertvolle Nährstoffe gebunden. Dies fördert das Bodenleben sowie den Humusaufbau. Durch die anschließende Mulchsaat bleibt der Boden außerdem vor Verdunstung, Austrocknung und Erosion geschützt (Bild 1, 2).

Die Direktsaat ist derzeit eine der intensivsten Bewirtschaftungsmethoden. Der einzige Eingriff in den Boden erfolgt für die Aussaat. Die Gefügestabilität des Bodens bleibt somit erhalten, wodurch in den intakten Kapillaren pflanzenverfügbares Wasser aufsteigen kann. Im direkten Vergleich dazu verbraucht die intensive, wendende Bodenbearbeitung das meiste Wasser. Durch das Aufbrechen des Bodens entsteht deutlich mehr Oberfläche, was die Verdunstung begünstigt. Ein weiterer wichtiger Effekt der konservierenden Bodenbearbeitung ist die Steigerung der Aggregatstabilität. Hierbei verbinden sich Bodenteilchen zu größeren abgrenzbaren Formtypen. Dies konnte anhand eines direkten Vergleiches von wendender und konservierender Bodenbearbeitung in Form der Direktsaat an einem Versuch der LfL am Standort Puch bewiesen werden.

Weiterführende Informationen finden Sie hier:

Videolink zum Regensimulator: <https://youtu.be/PzjiubMdygY>



Informationen des Bundesinformationszentrums für Landwirtschaft zu „Ackern gegen Dürre“: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/ackern-gegen-die-duerre>



Versuchsergebnisse zur Aggregatstabilität in Puch: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/I-2_2016_Bodenbearbeitung_712_Boden.pdf



5. Regenwürmer fördern

Regenwürmer sind insbesondere für die Landwirtschaft wichtige Nützlinge im Boden, da sie durch ihre vielseitigen Leistungen die Bodenfruchtbarkeit verbessern (Bieri, M., Cuendet, G., 1989; Dunger, W., 2008; Ehrmann, O., 2012). Ihre Aktivität fördert zum einen die Durchmischung von abgestorbenem organischem Material mit dem Mineralboden, wodurch der Aufbau eines stabilen Bodengefüges begünstigt wird. Zum anderen leisten sie einen wichtigen Beitrag zum luft- und wasserführenden Porensystem durch die Schaffung von Röhren. Diese Eigenschaften wirken sich zudem positiv auf die Nährstoffnachlieferung aus.

Ein großer Regenwurmbestand weist auf einen funktionsfähigen, biologisch aktiven Boden hin und gilt deshalb als Indikator für dessen Zustand. Verringert sich der Bestand im Boden durch ein verändertes Klima, z.B. aufgrund häufigerer Hitze- und Trockenperioden, wird sich dies unter Umständen ungünstig auf die Bodenfruchtbarkeit auswirken und kann schließlich langfristig zu Ertragseinbußen bzw. zu einer geringeren Ertragsstabilität in der Landwirtschaft führen (Ehrmann, O., 2012). Somit gilt es frühzeitig durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen möglichen negativen Folgen für die Bodenfruchtbarkeit entgegenzuwirken.

In unseren Böden sind 3 Lebensformen von Regenwürmern zu finden. Es gibt die Streubewohner, die Mineralschichtbewohner und die Tiefgräber (Bild 3a-c). In Summe sind sie alle wichtig für die Bildung einer porösen Krume, deren Struktur einem Schwamm ähnelt. Essenziell für eine schnelle und intensive Durchwurzelung der Pflanzen sind die geschaffenen wasserstabilen Grobporen (Bild 4). Diese Hohlräume bieten einen optimalen Lebensraum für die Mikrobiologie des Bodens, um schnell hohe Mengen an Nährstoffen umsetzen zu können. Besonders wichtig ist die Aktivität der tiefgrabenden Regenwürmer. *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) ist auf ackerbaulich genutzten



Bild 3 a-c: Streubewohnender Regenwurm, Mineralschichtbewohner und Tiefgräber, Quelle: R. Walter

Flächen die verbreitetste und häufigste Art dieser Lebensform. Nachts sammelt sie an der Bodenoberfläche organisches Material und bringt es tief in den Boden ein. Die vom Tauwurm gebildeten vertikalen Röhren können sehr schnell viel Wasser aufnehmen und in tiefere Schichten ableiten (Bild 5). In Trockenjahren nutzen Pflanzen diese vertikalen Röhren für das Wurzelwachstum, um ohne Widerstand schnell in tiefere Bodenschichten vorzudringen und somit ihren Wasserbedarf zu sichern (Bild 6). In diversen Bodenprofilen konnten die Wurzeln innerhalb von 6 Wochen bis zu 1 Meter Tiefe in den Röhren erreichen.

In vielen durchgeführten Infiltrationstests auf Praxisschlägen mit Versickerungsringen wurde festgestellt, dass ab einer Tauwurmrohrendichte von 18 Stück pro Quadratmeter ein Starkniederschlag von 50 Liter pro Quadratmeter sehr schnell aufgenommen werden kann.

Um ungünstige Auswirkungen des Klimawandels auf Regenwürmer und damit auf die Bodenfruchtbarkeit vorsorglich abzuf puffern, gilt es vermehrt bodenschonende und humusmehrende Bewirtschaftungsweisen in der Praxis anzuwenden. Diese kommen dem Aufbau und Zuwachs stabiler Regenwurmpopulationen im Boden zugute. Eine wesentliche Voraussetzung, um einen hohen Regenwurmbestand im Boden zu erhalten, ist ein ausreichendes Nahrungsangebot mit abgestorbenem organischem Material.

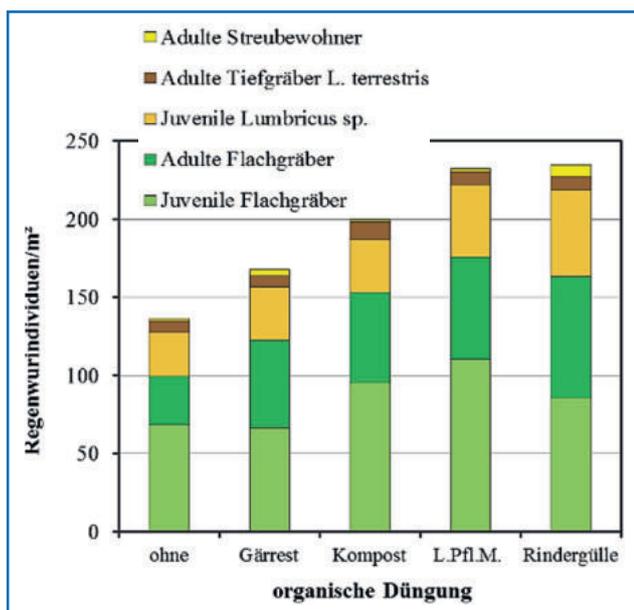


Abb. 4: Siedlungsdichte der Regenwürmer bei unterschiedlicher organischer Düngung auf einem Großparzellenversuch in Puch im Jahr 2014 (Fruchtfolge: Winterweizen/Wintergerste/Raps; L.Pfl.M. = Landschaftspflegetmaterial), Quelle: R. Walter

Studien zufolge fördert eine organische Düngung den Regenwurmbesatz. In einem Versuch der LfL (Abb. 4) hatten alle organisch gedüngten Varianten nach 3 Jahren eine höhere Siedlungsdichte der Regenwürmer als die rein mineralisch gedüngte Kontrolle.



Bild 4: Röhrensystem im Boden, Quelle: S. Obermaier



Bild 5: Zahlreiche Regenwurmrohren in tieferen Bodenschichten, Quelle: M. Stadler



Bild 6: Zwischenfruchtwurzel nach 6 Wochen in 1 m Tiefe in einer Tauwurmrohre, Quelle: S. Obermaier

Der Anbau humusmehrender Kulturen wie Gras-Leguminosen-Gemenge (Klee gras) in einer Fruchtfolge kann die Regenwurmpopulationen ebenfalls aufbauen. Sie führen zur erhöhten Reproduktion bei Regenwürmern, die meist noch deutlich in der Folgekultur zu erkennen ist.

Die positiven Wirkungen einer nicht wendenden Bodenbearbeitung auf Regenwürmer sind bekannt (Capelle v., C., et al., 2012, Krück, S., et al, 2001). Welche Effekte eine teilweise pfluglose Bewirtschaftung hat, zeigen zwei Bodenbearbeitungsversuche bei Donauwörth in einer Körnermais-Winterweizen-Fruchtfolge. Nach 10 Jahren Laufzeit wurden die Bodenbearbeitungsvarianten jährlich pflügen (100 % Pflug), jedes zweite Jahr pflügen (50 % Pflug) und pfluglos (Grubber) verglichen. In einem zweiten, nach 15-jähriger Laufzeit beprobten Versuch, wurde eine Pflugvariante im Abstand von 4 Jahren (25 % Pflug) untersucht. Während die flachgrabenden Regenwurmarten keine eindeutigen Differenzierungen zeigten, profitierte die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) eindeutig von einer pfluglosen Bewirtschaftung mit signifikant höheren Werten sowohl in der Individuenzahl

als auch in ihrer Biomasse. Da die Regenwurmbiomasse ein Indikator für die Leistungen der Regenwürmer im Boden ist, liefert sie wertvolle Hinweise über die Bodenstruktur und damit über wichtige Funktionen des Bodens. Den Abstand des Pflügens auf 2 Jahre auszudehnen kann vermutlich bereits einen Beitrag zur Verbesserung der Bodenfunktionen leisten.

Wesentlich ist es demnach, den Regenwürmern insgesamt ein ausreichendes Nahrungsangebot zur Verfügung zu stellen, z.B. durch eine organische Düngung sowie durch eine reichhaltige, humusmehrende Fruchtfolgegestaltung und Zwischenfruchtanbau. Vor allem in trockeneren Klimaräumen und auf sandigen Standorten ist dies zum Aufbau stabiler Regenwurmbestände besonders wichtig.

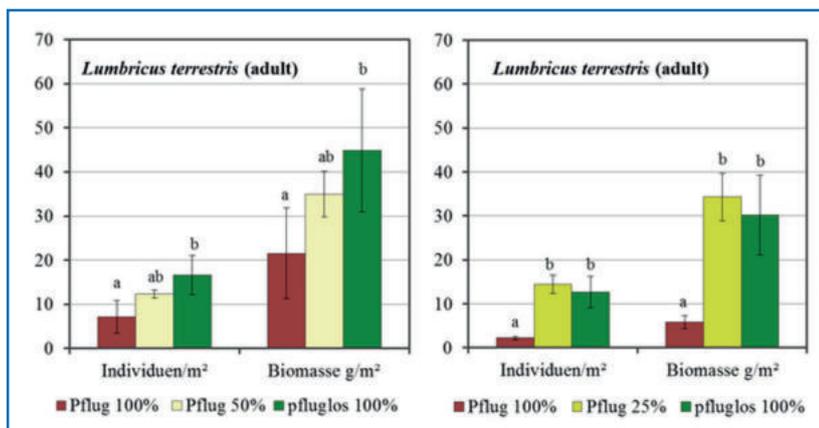


Abb. 5: Siedlungsdichte der Regenwürmer bei unterschiedlicher organischer Düngung auf einem Großparzellenversuch in Puch im Jahr 2014 (Fruchtfolge: Winterweizen/Wintergerste/Raps; L.Pfl.M. = Landschaftspflegematerial), Quelle: R. Walter

Weitere Informationen zum Thema finden Sie unter:

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/030961/index.php>



6. Auf die Kalkversorgung achten

Die Kalkversorgung des Bodens hat einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit. Die auszubringende Kalkmenge hängt von der Bodenart und dem pH-Wert ab. Der Kalkung sollte eine Bodenuntersuchung vorausgehen. Der physikalische Effekt dieser Maßnahme beruht darauf, dass der Kalk Brücken zwischen den Tonteilchen bildet, so dass stabile Bodenkrümel entstehen können. Diese strukturverbessernde Wirkung ist besonders wichtig auf ton- und schluffreichen Böden: Die Verschlammungs- und Erosionsneigung wird gemindert, die Böden sind tragfähiger und weniger anfällig gegenüber Verdichtungen, wodurch gleichzeitig das Wurzelwachstum der Pflanzen und der Luft-, Wasser- und Wärmehaushalt des Bodens begünstigt werden.

Neben dieser indirekten Wirkung durch die Bodengare werden Bodenlebewesen auch direkt durch einen optimalen pH-Wert begünstigt. Damit hat der pH-Wert einen Einfluss auf wichtige Abbau- und Umbauprozesse im Boden (Zersetzung der Erntereste, Stabilisierung der organischen Substanz, Mineralisation usw.). Zudem sind auch Nährstoffe bei einem leicht sauren bis neutralen Boden-pH am besten pflanzenverfügbar.

Weiterführende Informationen finden Sie unter nachfolgendem Link:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/kalkung-pdf.pdf>



7. Humusgehalte erhalten oder steigern

Eine zentrale Maßnahme zur Verbesserung des Wasserhaltevermögens ist eine Steigerung bzw. der langfristige Erhalt standorttypischer Humusgehalte. Unter Humus versteht man die Gesamtheit der unbelebten organischen Bodensubstanz, die in vielen verschiedenen Formen und Abbaugraden im Boden vorliegt, z.B. frisch in Form von Ernterückständen oder als mikrobiell umgewandelte Bestandteile.

Die organische Substanz dient als Nährstoff- und Energiequelle für Bodenorganismen und wird dabei sukzessive von ihnen abgebaut und verstoffwechselt. Verschiedene Stabilisierungsmechanismen führen allerdings dazu, dass ein Teil der organischen Substanz vor dem Abbau geschützt wird. Dazu gehört der Einschluss organischer Substanz in Bodenaggregate sowie die Bindung an Tonminerale oder Eisenoxide.

Tab. 1: Standorttypische Humusgehalte (organischer Bodenkohlenstoff, C_{org} , Gesamt-Stickstoff = N_t) von Ackerböden in Bayern in Abhängigkeit von Bodenart und Klima
Quelle: Sümmerer & Wiesmeier, 2023

Bodenart	Höhe über NN in m	C_{org} in %	N_t in %	C_{org} / N_t
leicht	< 350	0,79 - 1,49	0,08 - 0,14	9,2 - 11,3
	350 - 500	0,72 - 1,64	0,06 - 0,15	9,8 - 12,0
	>500	1,19 - 2,12	0,12 - 0,21	9,7 - 11,7
mittel	< 350	0,89 - 1,39	0,10 - 0,14	8,1 - 9,7
	350 - 500	1,09 - 1,90	0,12 - 0,19	8,8 - 10,4
	>500	1,32 - 2,46	0,14 - 0,23	9,2 - 11,0
schwer	< 350	1,13 - 2,04	0,13 - 0,23	8,2 - 9,8
	350 - 500	1,24 - 2,28	0,14 - 0,23	8,6 - 10,2
	>500	1,58 - 3,42	0,17 - 0,34	9,3 - 10,3

Unter konstanten Umweltbedingungen (Bewirtschaftung, Klima) nähert sich der Humusvorrat im Boden langfristig einem Fließgleichgewicht aus dem Eintrag (z.B. Biomasse aus Ernterückständen, Wurzelreste, organische Düngung) und dem Abbau der organischen Substanz im Boden an. Es bestehen daher zwei grundsätzliche Strategien zum Humusaufbau:

Entweder eine Erhöhung des Eintrags organischer Substanz durch eine veränderte Bewirtschaftung oder eine Verzögerung des Abbaus, indem die Stabilisierung der organischen Substanz gefördert wird. Eine Erhöhung des Eintrags organischer Substanz kann über zahlreiche Maßnahmen erreicht werden:

- ▶ organischen Dünger (Gülle, Stallmist, Kompost, Gärreste etc.)
- ▶ verbesserte Fruchtfolgen (Integration humusmehrender Kulturen wie Futter- oder Körnerleguminosen)
- ▶ Zwischenfruchtanbau
- ▶ Mischkultursysteme und Untersaaten
- ▶ mehrjährige Energiepflanzen (z.B. Miscanthus)
- ▶ Management von Koppelprodukten (z.B. Strohdüngung)
- ▶ Schlupf minimieren
- ▶ Blühstreifen
- ▶ Agroforstsysteme

Ein verzögerter Abbau organischer Substanz bzw. eine verbesserte Stabilisierung kann über

die Anwendung von Pflanzenkohle (ein Einbringen von Schadstoffen wie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle, usw. ist hierbei zu verhindern), Krumenvertiefung oder die Einarbeitung schluff- bzw. tonreicher Substrate erreicht werden.

Reduzierte Bodenbearbeitung ist eine wichtige Maßnahme zur Vorsorge gegen Bodenerosion und ist mit Vorteilen hinsichtlich Infiltration, Aggregatstabilität und der Makrofauna des Bodens verbunden. In der Regel wird jedoch keine Humusmehrung, sondern lediglich eine vertikale Umverteilung von Humus im Oberboden erreicht.

Ein vor 30 Jahren angelegter Dauerversuch der LfL zum Einfluss von wendender und nicht wendender Grundbodenbearbeitung auf Ertrag und Bodeneigenschaften zeigt die Vorteile der Direktsaat im Vergleich zum Pflug auf die Aggregatstabilität deutlich (siehe Abb. 6). Die Reduzierung der Bearbeitungstiefe bewirkt eine Erhöhung der mikrobiellen Aktivität aufgrund der flachen Einarbeitung der Erntereste in dieser Zone. In der Folge wird die Aggregatstabilität positiv beeinflusst, wodurch die Verschlammungsneigung des Bodens deutlich verringert ist. Unter den Regenwürmern profitierte vor allem die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris*, eine Zeigerart für ausreichendes Angebot an Streu- und Rottematerial an der Bodenoberfläche, von einer nicht wendenden Bodenbearbeitung und noch stärker von einer Direktsaat.

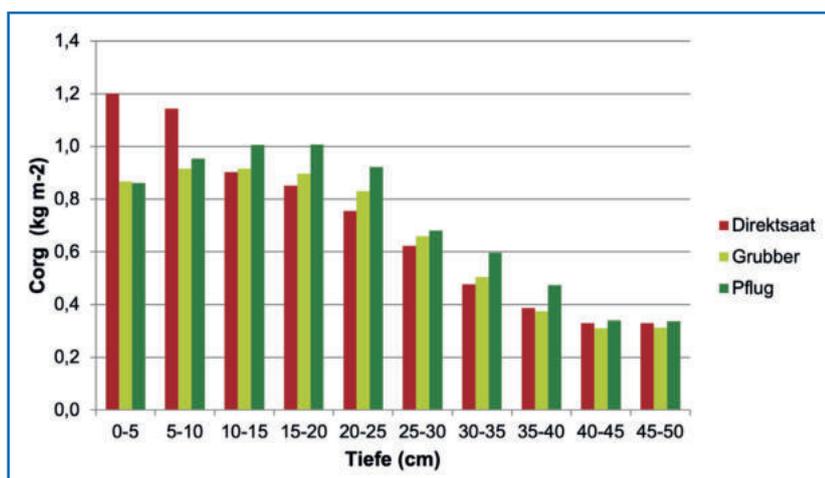


Abb. 6: Vorräte organischen Bodenkohlenstoffs (C_{org}) bis 50 cm Tiefe in einem Dauerversuch der LfL bei Puch zur Bodenbearbeitung, Quelle: LfL

Hinsichtlich der Humusvorräte zeigte sich bei Betrachtung des Ober- und Unterbodens (0-50 cm Tiefe), dass es in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten nicht zu einer absoluten Humusmehrung, sondern lediglich zu einer Umverteilung der organischen Substanz gekommen ist. Ein Anstieg der Humusvorräte in 0-10 cm Tiefe geht auf Kosten verringerter Humusvorräte im Bereich 10-40 cm, die gesamte Humusmenge unterschied sich nicht zwischen den Varianten.

Die Vorteile reduzierter Bodenbearbeitungssysteme hinsichtlich Bodenstruktur, Erosionsschutz und Bodenleben gehen also nicht mit einem

Aufbau von Humus einher. Allerdings muss dies vor dem Hintergrund einer dort abgebildeten einseitigen Fruchtfolge gesehen werden ohne dabei heutige neue innovative Bodenbearbeitungsstrategien sowie pflanzenbauliche Systeme mit z.B. Untersaaten berücksichtigt zu haben.

Auf der Homepage der LfL sind weitere Informationen zum Thema zu finden:

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031060/index.php>



8 Zwischenfruchtsysteme anpassen

Bereits seit mehreren Jahrzehnten sind Zwischenfrüchte nicht nur eine Frucht zwischen zwei Hauptkulturen, sondern vielmehr eine Schlüsselkultur im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit. Ihr Nutzen ist wichtiger denn je, da die Eigenschaften auf die Wassernutzungseffizienz vielfältig sind. Zum einen können ihre Wurzeln den Boden intensiv lockern, durchwurzeln und dadurch stabilisieren. Das entstandene Grobporengefüge ist essenziell für die Verteilung und Speicherung des Wassers im Boden. Zum anderen haben die hinterbliebenen Wurzeln der Zwischenfrüchte ein weiteres Kohlenstoff- /Stickstoff - Verhältnis als der Oberflächenaufwuchs und tragen so zu einer langfristigen Humusmehrung bei. Das aktuelle Forschungsprojekt „CATCHY“ zeigt, dass der Zwischenfruchtbau in den Jahren mit reduzierter Bodenwasserverfügbarkeit nicht zu Wasserknappheit für die folgende Ernte führte.

Zwischenfrüchte verbrauchen das Bodenwasser während sie wachsen, reduzieren aber die Verdunstung und bewahren Wasser nach ihrem Absterben im Vergleich zu Schwarzbrache (Abb. 7, folgende Seite). Die flache Einarbeitung von Zwischenfruchtrückständen in den Boden erhöhte die Infiltrations- und Wasserspeicherkapazität unter der folgenden Hauptkultur.



Bild 7: Bodenprofil eines mit Zwischenfrüchten bestellten Ackers, Quelle: S. Obermaier



Bild 8: Mulchsaat im Mais, Quelle: R. Brandhuber

Der abgestorbene Aufwuchs bildet die Grundlage für die Mulchbedeckung in der Folgefrucht. Um den Boden vor Verschlammung und Verdunstung zu schützen, sind ausreichende Bedeckungsgrade von mindestens 30 % notwendig. Grundsätzlich gilt dabei: je mehr, desto besser.

Um das Potenzial der Zwischenfrüchte optimal nutzen zu können, bedarf es einiger Anpassungen. Für eine erfolgreiche Etablierung des Bestandes müssen einige Punkte beachtet werden, welche bei den Hauptfrüchten bereits standardmäßig durchgeführt werden. Das einfache Ausbringen der Zwischenfrüchte beispielsweise mit einem Schneckenkornstreuer führt oft nicht zu den gewünschten Feldaufgängen. Die zunehmende Trockenheit in den Sommermonaten erfordert eine ordentliche Bestellung mit einer Sämaschine für eine adäquate Einbettung der Saat. Nur so kann das Saatgut mit ausreichend Keimwasser versorgt werden.

Des Weiteren sollten Zwischenfrüchte in der Artenwahl diversifiziert werden. Ein ausreichender Anteil an Trockenkeimern ist ebenfalls notwendig, um einen optimalen Bestand zu erreichen. Auch ein verändertes Nährstoffangebot sollte berücksichtigt werden hinsichtlich der aktuell geltenden Düngeverordnungen. Eine möglichst frühe Aussaat bildet die Grundlage für ausreichend Vegetationszeit und legt damit den Grundstein für einen optimalen Aufwuchs mit einer intensiven Durchwurzelung (Bild 9). Die Wurzeln der Zwischenfrüchte bilden ein Porensystem, welches die nachfolgende Kultur nutzt, um schneller tiefere Bodenschichten zu erschließen. So kann Trockenstress reduziert werden.

Ähnliche Effekte könnten auch mit Untersaaten oder Beisaaten geschaffen werden. Unter Berücksichtigung der genannten Punkte lässt sich die Wassernutzungseffizienz über die gesamte Fruchtfolge steigern.

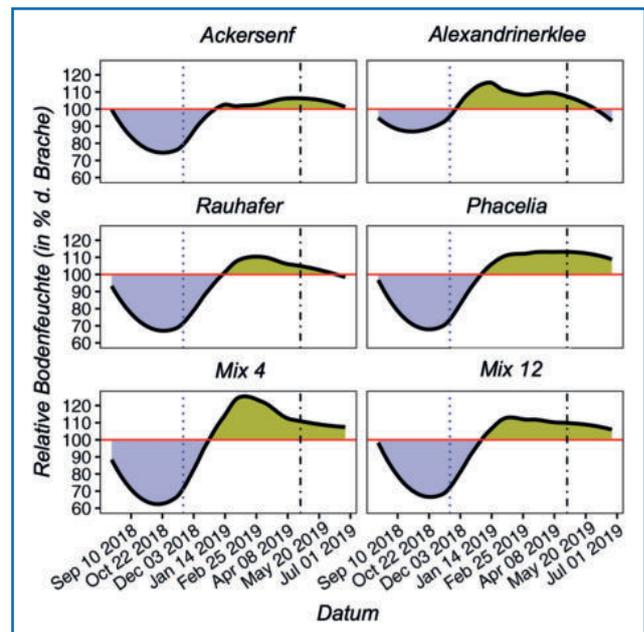


Abb. 7: Vergleich der Auswirkung von verschiedenen Zwischenfrüchten auf den Bodenwasserhaushalt bis 80 cm Tiefe. Die rote Linie stellt eine Schwarzbrache als Referenz dar. Mix 4 = Senf, Klee, Rauhafer, Phacelia (3 % Leguminosen in Biomasse), Mix 12 = „Terra Life“, 12 Pflanzenarten (23 % Leguminosen in Biomasse), Quelle: verändert nach Gentsch et al., 2022



Bild 9: Optimales Grobporengefüge, intensiv durchwurzelt und lebend verbaut für hohe Wasserinfiltration und -speicherung, Quelle: S. Obermaier

Am Standort der LfL in Ruhstorf soll bis 2023 ein Erosions- und Abflussmessfeld zur Erforschung der Einflüsse verschiedener Landwirtschaftsmethoden und Fruchtfolgen entstehen. Fortlaufende Ergebnisse hierzu finden Sie unter:

<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/296287/index.phpindex.php>



9. Agroforstsysteme und Landschaftsstrukturen nutzen

Nair (1993) definiert Agroforstwirtschaft als Landnutzungssysteme, bei denen Gehölze wie Bäume oder Sträucher mit Ackerkulturen und/oder Tierhaltung so auf einer Fläche kombiniert werden, sodass zwischen den verschiedenen Komponenten ökologische und ökonomische Vorteilswirkungen entstehen (Bild 10 a,b).

Agroforstsysteme sind bislang in Deutschland nicht sehr weit verbreitet, könnten aber besonders zur Anpassung an die Trockenheit ohne Bewässerung zukünftig mehr Bedeutung bekommen. Agroforstsysteme schützen den Boden in beachtlicher Weise vor Erosion. Auf hängigen Flächen begrenzen Gehölzstreifen, quer zum Hang gepflanzt, die Wassererosion erheblich. Und auch die Winderosion wird durch die Gehölze deutlich gemindert.

Versuche der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg haben gezeigt, dass Agroforstsysteme länger anhaltende Trockenperioden besser überstehen können als normale Ackerbausysteme. Vor allem in Zeiten von längeren Trockenheiten, wie sie in den letzten Jahren verstärkt in weiten Teilen Deutschlands zu beobachten waren, können bewährte Agroforstsysteme einen Beitrag zur Reduzierung von Trockenstress landwirtschaftlicher Kulturen beitragen.

Bei einer Pflanzung quer zur Hauptwindrichtung können Gehölzstreifen im Abstand von 50 m die Winderosion um 85 % und Bäume im Abstand von 25 m gepflanzt um 97 % verringern (Belka-Lorenz, S., 2019). Zudem dienen die tief wurzelnden Bäume als Wasser- und Nährstoffpumpe. Positive Effekte auf die Ertragshöhe und –stabilität der Ackerkulturen sind allerdings standortabhängig. Humusanreicherung und langfristige Steigerung der Bodenqualität werden durch den Laubfall, abgestorbene Feinwurzeln und Wurzelausscheidungen der Bäume positiv beeinflusst. Eine globale Auswertung der Humusanreicherung in Agroforstsystemen der

gemäßigten Breiten zeigte einen bedeutenden Anstieg der Humusvorräte von 17 % in Oberböden und 11 % in Unterböden (Mayer et al., 2022). Diese Systeme tragen dank ihres Aufbaus in unterschiedlichen Höhenschichten sowohl über- als auch unterirdisch zu einem effizienten Nährstoffkreislauf bei. Weitere wissenschaftliche Untersuchungen haben sowohl eine Reduktion von Nitrat- als auch Phosphatauswaschungen in Agroforstsystemen bestätigt. Um eine bessere Anpassung von Agroforstsystemen für Ackerkulturen auf trockenen Standorten ohne Bewässerung zu erzielen ist noch weiterer Forschungsbedarf notwendig.



Bild 10 a,b: Agroforstversuche der LfL mit Pappeln zur Energieholzgewinnung mit Ackernutzung an den Standorten Pulling (links) und Neuhof (rechts),
Quelle: A. Winterling

Mehr Informationen zum Thema Agroforst finden Sie unter:

<https://agroforst-info.de/>



10. Bewertung des Bodenzustandes

Ein praktikables Mittel, um die Bodenstruktur auf den einzelnen Flächen zu bewerten, ist die Qualitätssicherung mit der sogenannten Spaten-diagnose. Zunächst erfolgt die genaue Analyse der Bodenoberfläche hinsichtlich Mulchbedeckung, Vorkommen von Regenwurmröhren, Verschlämmung und Verkrustung. Daraufhin wird mit Hilfe eines Spatens ein Bodenblock ausgehoben und dabei der Eindringwiderstand beachtet, der Hinweise auf die Dichtlagerung gibt. Der folgende Abwurf des Blocks auf eine harte Unterlage bewirkt, dass der Boden in seine natürlichen Gefügeaggregate zerfällt. Diese werden anschließend mit der Hand zerteilt und Farbe, Gefügeform, Strohverteilung und Wurzelbild bewertet.

Auch der Unterboden wird durch Ausstechen eines weiteren Bodenblocks auf etwaige Verdichtungen im Bereich der Pflugsohle und in tieferen Schichten untersucht. Röhren und

Klüfte, aber auch die Aggregatformen (Krümel, Bröckel, Polyeder, Prismen, Platten) werden genau betrachtet. Die optimale Bodenstruktur ist von essenziellem Wert für die Bodenfruchtbarkeit, die Wasserhaltefähigkeit und auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber Erosion. Sie ist der anzustrebende Zustand unseres wichtigsten Ertragsgutes und somit das vorrangige Ziel jedes Landbewirtschafters.

Die Veröffentlichung „Bodenstruktur beurteilen und verbessern“ der LfL gibt eine exakte Anleitung, wie dabei vorzugehen ist, auf welche Merkmale es ankommt und wie sie zu bewerten sind (Abb. 8).

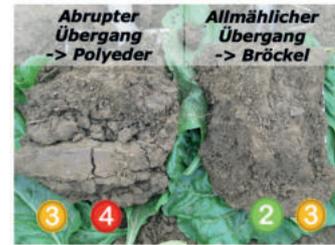
Weitere Informationen zum Thema finden Sie unter:

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/bodenstruktur-erkennen-beurteilen_lfl-information_web.pdf



Bodenstruktur beurteilen und verbessern

Ist die Bodenfruchtbarkeit auf meinen Feldern in Ordnung? Qualitätssicherung mit der „Spatendiagnose“



Bodenoberfläche



Bewertung	1		2		3		4		5	
	günstig					ungünstig				
Bodenoberfläche										
	Je nach Anforderung rau bis fein, Makroporen und Einzelaggregate erkennbar, Wurmkot					Grobporen fehlen, Aggregate verschlämmt, Entmischung, Krusten				
Gefüge von Krume und Unterboden										
keine Aggregate	locker					verdichtet				
						Zusammenhängendes Gefüge (kohärent)				
Aggregate	Krümel					Bröckel				
	porös, locker, fein					unscharf begrenzte, poröse Aggregate, bei leichtem - stärkerem Druck zerfallend				
	Polyeder					Prismen, Platten				
	Scharfkantige, glattflächige, +/- dichte Aggregate, sehr fein (<2 mm) bis grob (>30mm)									
Weitere wichtige Merkmale										
Wurzeln	gleichmäßig, hohe Wurzeldichte, kein Wurzelstau					ungleichmäßig, Wurzelfilz auf Klüftflächen, geknickte Wurzeln, wurzelleere Zonen				
Farbe, Geruch	gleichmäßige Farbe, keine Flecken, erdiger Geruch					Rost- und Grau(Blau)flecken, Konkretionen, Geruch faulig				
Ernterückstände	in Rotte oder weitgehend abgebaut (je nach Jahreszeit)					relativ frisch, „einzementiert“, ungleichmäßig verteilt („Matratzen“), verpilzt				
Röhren, Klüfte	Zahlreiche Wurm- oder Wurzelröhren, Klüfte					wenige oder keine Röhren und Klüfte				
Übergänge	allmählich					abrupt von locker-porös zu dicht-kohärent				

Gefügeformen



Strohverteilung, Wurzelentwicklung, Regenwurmgänge



Maßnahmensteckbrief zum Erhalt guter Bodenstruktur

Ziel	Umsetzung
Tragfähigkeit und Aggregatstabilität der Böden verbessern!	Konservierende Bodenbearbeitung ; Zwischenfruchtanbau ; bedarfsgerechte organische Düngung und Kalkung
Befahren zu feuchter Böden vermeiden!	Schlagkraft an verfügbare Feldarbeitstage anpassen!
Bodendruck begrenzen: ▪ Reifeninnendruck anpassen! ▪ Niedrigere Radlasten bevorzugen!	max. 1 bar im Frühjahr , max. 2 bar im Sommer/Herbst ; Reifendruckregelung; Trennung Feld- / Straßentransport

Weitere Infos durch Scan des QR-Codes



Abb. 8: Anleitung zur Beurteilung der Bodenstruktur, Quelle: F. Ebertseder

11. Kulturen diversifizieren

Wie alle anderen Lebewesen benötigen auch Pflanzen Wasser zum Leben und Wachsen. Der größte Teil des Wasserverbrauchs ist auf die Transpiration der Pflanzen zurückzuführen. Jedoch auch durch Bodenverdunstung (Evaporation), Oberflächenabfluss und Versickerung kann Wasser aus Niederschlag oder Bewässerung verloren gehen. Die unproduktivste Form des Verlustes ist die Evaporation. Sie lässt sich durch ein gut entwickeltes Laubdach reduzieren, das den Boden beschattet. Die Transpiration hingegen ist ein natürlicher Vorgang, der für das Pflanzenwachstum erforderlich ist. Pflanzen nehmen über die Spaltöffnungen ihrer Blätter Kohlendioxid für die Fotosynthese auf. Dabei verlässt Wasser das Pflanzengewebe. Sobald nicht mehr ausreichend Wasser zur Verfügung steht, schließen sich die Öffnungen wieder und der dadurch entstehende CO₂-Mangel bewirkt, dass weniger Biomasse erzeugt wird. Die Transpiration treibt die Wasseraufnahme an und damit auch die Nährstoffaufnahme und -verteilung (Tab. 2).

Eine effiziente Nutzung des verfügbaren Wassers ist daher ausschlaggebend für einen hohen Ertrag. Bei guten Anbaubedingungen beschränkt sich der Wasserverbrauch größtenteils auf Verdunstung und Transpiration, der jeweilige Bedarf ist dabei abhängig von der Pflanzenart und den Wachstumsbedingungen. Zuckerrüben, Kartoffeln oder auch Raps sind beispielsweise relativ hitzeempfindlich und wenig trocken tolerant. Pflanzen aus subtropischen Gebieten wie Mais oder Soja hingegen sind sehr hitzetolerant, können das volle Ertragspotenzial allerdings auch nur ausschöpfen, wenn eine ausreichende Wasserversorgung gegeben ist. Hirse, Sesam und Kichererbsen zählen im Gegensatz dazu zu den am trockenheitsverträglichsten Kulturpflanzen.

Was macht eine Pflanze trocken tolerant? Hauptverantwortlich für die Hitze- und Trockenheitsverträglichkeit einer Pflanze sind insbesondere die Pflanzenart sowie ihre genetische Disposition und Physiologie. Die für Trocken toleranz

Tab. 2: Der Wasserverbrauch pro Tonne Ertrag ist von der Witterung und Nährstoffversorgung abhängig. Unter guten Bedingungen ist für einen bestimmten Ertrag wesentlich weniger Wasser erforderlich als unter schlechten Bedingungen, Quelle: Yara Deutschland GmbH & Co. KG

Kulturpflanze	Wasserverbrauch in mm/m ² pro Ertrag in t/ha	
	gute Bedingungen	schlechte Bedingungen
Winterweizen	60	85
Winterroggen	50	95
Sommergerste	40	90
Raps	65	130
Silomais	7	15
Körnermais	40	75
Zuckerrübe	8	12
Kartoffel	6	20

Tab. 3: Transpirationskoeffizient für landwirtschaftliche Nutzpflanzen, Quelle: Geisler, 1988

Transpirationskoeffizient in l H ₂ O / kg TM	Kulturart
200 - 300	Hirschen
300 - 400	Mais, Beta-Rüben
400 - 500	Gerste, Roggen, Hartweizen
500 - 600	Kartoffeln, Sonnenblumen, Weichweizen, Kohl, Buchweizen
600 - 700	Raps, Erbsen, Bohnen, Hafer, Gurken, Rotklee
Über 700	Luzerne, Soja, Lein, Kürbis, Kohlrübe

und Wasserverbrauch verantwortlichen Gene haben sich im Laufe der Evolution z.B. bei Kulturen aus subtropischen Trockengebieten stärker ausgeprägt als bei Kulturen aus dem gemäßigten Klima. Essenziell ist dabei eine Reduktion der Verdunstung durch die Spaltöffnungen auf der Blattoberfläche bei gleichzeitig hoher CO₂-Nutzungseffizienz (Tab. 3).

Hierauf liegt heute ein Schwerpunkt der Pflanzenzüchtung, aber auch bei der Forschung nach chemischen oder organischen Pflanzenhilfsstoffen. Junge Pflanzen passen sich bei Trockenstress mit verstärktem Wurzelwachstum und veränderter Blattmorphologie an. In späteren Wachstumsphasen hingegen wird mit einem verfrühten Eintreten in die generative Phase die Bildung von Früchten oder Samen vorangetrieben, was sich in Form eines geringeren Erntegewichts von Früchten und Samen auswirkt.

Einflüsse auf die Trockentoleranz von Pflanzen:

- ▶ Gene, welche für die Trockentoleranz und den Wasserverbrauch verantwortlich sind
- ▶ Wurzelsystem der Pflanzen
 - Pfahlwurzeln, die Wasser aus tiefen Bodenschichten erschließen
 - Stark verzweigtes System von Feinwurzeln in den oberen Bodenschichten
- ▶ Blattmasse und Entwicklungsstadium
- ▶ Regenerationsfähigkeit der Pflanze nach Trockenphasen

Nutzpflanzen, die gut mit Trockenheit umgehen können, sind das Ziel der zukünftigen Pflanzenzüchtung. Mit Hilfe moderner Forschung können Pflanzen mit guter Wassereffizienz und Hitzetoleranz selektiert werden, um somit die Ertragsicherheit auch in Trockenjahren gewährleisten zu können. Durch eine Anpassung der Fruchtfolge mit Einbringung von trockenheitstoleranten Sortenneuzüchtungen oder an Hitze und Wassermangel angepassten Nutzpflanzen kann das Ertragsrisiko verringert werden. Ein zusätzlicher Vorteil: Durch die erweiterte Fruchtfolge wird der Krankheitsdruck geringer und somit lassen sich Pflanzenschutzmittel einsparen.

Die LfL forscht an der Anbauwürdigkeit von ausgewählten trockenheitstoleranten Pflanzen in Deutschland. Unter anderem werden Erdnuss, Vigna Bohnen und Hirsearten (Bild 11 a-c) einer genauen, mehrjährigen Prüfung unter regionalen Klimabedingungen unterzogen und bewertet (Tab. 4). Die Ergebnisse werden fortlaufend überprüft und aktualisiert.



Bild 11 a-c: Erdnusspflanze, Augenbohne und Perlhirse, Bildquelle: K. Fleißner

Tab. 4: Kulturen mit ackerbaulichem Potenzial in Bayern
Quelle: K. Fleißner

Kultur	In Bayern getestet	Toleranz	
		Trockenheit	Hitze
Perlhirse	Ja	+++	+++
Augenbohne	Ja	+++	+++
Erdnuss	Ja	++	+++
Sojabohne	Ja	+	++
Süßkartoffel	Ja	++	++
Buchweizen	Ja	+	++
Kichererbse	Ja	++	++
Sonnenblume	Ja	++	++
Körnermais	Ja	+	++

Weitere Informationen finden Sie unter:
<https://www.lfl.bayern.de/ipz/heilpflanzen/index.php>



12. Literaturverzeichnis

- ▶ Agroforstwirtschaft – ökonomisch und ökologisch vielversprechend. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. 26.01.2023. <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/agroforstwirtschaft#:~:text=Agroforstwirtschaft%20-%20ökonomisch%20und%20ökologisch%20vielversprechend,allerdings%20noch%20nicht%20weit%20verbreitet>
- ▶ Belka-Lorenz, S., Deutschlandfunk, Agroforstwirtschaft gegen Trockenheit, 19.08.2019. <https://www.deutschlandfunk.de/baeume-auf-aeckern-agroforstwirtschaft-gegen-trockenheit-100.html>
- ▶ Bieri, M., Cuendet, G. (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. - Landwirtschaftliche Forschung, Recherche agronomique en Suisse 28(2), 81-96.
- ▶ Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H.-J., Brunotte, J. (2008): Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen – Empfehlungen für die Praxis. DLG-Merkblatt 344. Hrsg.: DLG e.V. und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. DLG e.V., Frankfurt, 6-7.
- ▶ Burmeister, J., Parzefall, S., Ebertseder, F., Henkelmann, G., Walter, R., Fritz, M. (2020): Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nachhaltigkeit der Nutzungspfade Biogas und BtL. Berichte aus dem TFZ 67. <https://www.tfz.bayern.de/service/publikationen/047019/index.php>
- ▶ Capelle v., C., Schrader, S., Brunotte, J., Heinrich, J. (2012): Wie Bodentiere auf unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren reagieren. Bodenleben erhalten und fördern. – Landwirtschaft ohne Pflug 1/2, 17-22.
- ▶ Ehrmann, O. (2012a): Der unterirdische Mitarbeiterstamm. Bedeutung von Regenwürmern für den Ackerbau. – Landwirtschaft ohne Pflug 11, 25-34.
- ▶ Ehrmann, O. (2012b): Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenwürmer Baden-Württembergs. - Hrsg. LUBW. 64 S. (aufgerufen am 26.01.2015). <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/101762/U13-M315-N08.pdf?command=downloadContent&filename=U13-M315-N08.pdf>
- ▶ Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF). Was ist Agroforstwirtschaft? 26.01.2023. <https://agroforst-info.de/agroforstwirtschaft/>
- ▶ Dunger, W. (2008): Tiere im Boden. Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 280.
- ▶ Geisler, G. (1988): Pflanzenbau. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 530.
- ▶ Gentsch, N., Heuermann, D., Boy, J., Schierding, S., v. Wirén, N., Schweneker, D., Feuerstein, U., Guggenberger, G. (2021): Soil nitrogen and water management by winter-killed catch crops, 6-8, doi 10.5194/soil-8-269-2022.
- ▶ Kay, S., Jäger, M., Herzog, F. (2020). Moderne Agroforstsysteme in der Schweiz. In: Agrarwissenschaft Forschung – Praxis. Band 98 (2): 11-12.
- ▶ Krück, S., Nitzsche, O., Schmidt, W. (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. - Landwirtschaft ohne Pflug 1, 18-21.
- ▶ Leroy, B., O. Schmidt, A. Van den Bossche, D. Reheul, M. Moens (2008): Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia* 52: pp.139-150.
- ▶ Manevski, K., Jakobsen, M., Kongsted, A.G., Georgiadis, P., Labouriau, R., Hermansen, J.E., Jørgensen, U. (2019). Effect of poplar trees on nitrogen and water balance in outdoor pig production – A case study in Denmark. *Sci. Total Environ.* 646, 1448–1458. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.376
- ▶ Mayer S., Wiesmeier M., Sakamoto E., Hübner R., Cardinael R., Kühnel A., Kögel-Knabner, I. (2022): Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107689.
- ▶ Nair, P. K. R., Kumar, B. M., Nair, DV. D., (2021): An introduction to agroforestry: Four decades of scientific developments. Springer Verlag, Berlin, 666.
- ▶ Schoumans, O.F., Chardon, W.J., Bechmann, M.E., Gascuel-Oudou, C., Hofman, G., Kronvang, B.,

- Rubæk, G.H., Ulén, B., Dorioz, J.M. (2014). Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: A review. *Sci. Total Environ.* 468–469, 1255–1266. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.061
- ▶ Seitz, B., Carrand, E., Burgos, S., Tatti, D., Herzog, F., Jäger, M., Sereke, F. (2017). Erhöhte Humusvorräte in einem siebenjährigen Agroforstsystem in der Zentralschweiz / Augmentation des stocks d’humus dans un système agroforestier de sept ans en Suisse centrale. *Agrar. Schweiz* 8, 318–323.
 - ▶ Sümmerer, M., Wiesmeier, M. (2023): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. LfL-Schriftenreihe.
 - ▶ Wolz, K.J., Branham, B.E., DeLucia, E.H. (2018). Reduced nitrogen losses after conversion of row crop agriculture to alley cropping with mixed fruit and nut trees. *Agric. Ecosyst. Environ.* 258, 172–181. doi:10.1016/j.agee.2018.02.024
 - ▶ Yara Deutschland GmbH & Co. KG, Wasserbedarf im Pflanzenbau: 26.01.2023 zu finden unter: <https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/pure-nutrient/info12-wassernutzungs-effizienz/wasserbedarf-im-pflanzenbau/>



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	info@alb-bayern.de
Internet	www.alb-bayern.de