

Landtech

Folgewirkungen von Bodenbearbeitungsmaßnahmen

Ernst Spiess, Thomas Anken und Jakob Heusser, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Peter Weisskopf, Christoph Högger und Hans-Rudolf Oberholzer, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), CH-8046 Zürich

Auskünfte: Ernst Spiess, e-mail: ernst.spieess@fat.admin.ch, Fax +41 (0)52 365 11 90, Tel. +41 (0)52 368 31 31

Übermässig hohe Bearbeitungsintensitäten brachten auch bezüglich der Lockerung keine erkennbaren Vorteile. Bei der Stabilität des gelockerten Bodengefüges gibt es hingegen gerätespezifische Unterschiede. Der durch die Bearbeitung ausgelöste Anstieg der Nitratkonzentration kann mit geeigneten Begrünpflanzen bedeutend reduziert werden. Wider Erwarten hatte nicht die feinste Bearbeitung die stärkste Mineralisierung zur Folge. Die Unterschiede zwischen den Bearbeitungssystemen sind dabei eher als unbedeutend einzustufen. Aus bodenmikrobiologischer Sicht kann das sparsamste Bearbeitungsverfahren genügen. Im Gegensatz zu den Folgebearbeitungen wurde die Regenwurmpopulation schon durch das Pflügen allein signifikant dezimiert.

Geringe Unterschiede im Gefügestand

Im Herbst 1997 (3.10.97) und im Frühsommer 1998 (5.6.98) wurden alle Bearbeitungsgeräte- und Bearbeitungsintensitätsverfahren einer Feldwiederholung beprobt. Pro Verfahren wurden aus 5 bis 10 cm Tiefe je sechs 100-cm³-Zylinderproben entnommen. Anhand dieser ungestörten Bodenproben wurde der Aufbau des Gefüges mit Hilfe der Messgrössen «Lagerungsdichte» (LD), «Gesamtporenvolumen» (GPV), «Gröbst-» (GGP) und «Groporenvolumen» (GP) sowie Mittel- und Feinporenvolumen untersucht.

Die durch verschiedene Geräte mit jeweils unterschiedlicher Intensität durchgeführte Bodenbearbeitung führte - verglichen mit der unbearbeiteten Kontrolle - zu einer deutlichen **Lockerung** des

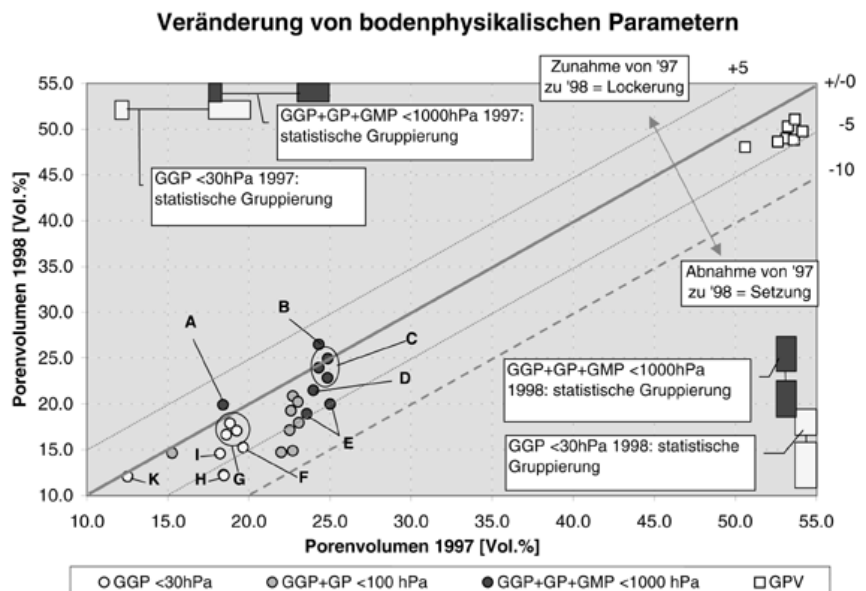
Bodens, was sich als Zunahme des Porenvolumens besonders im Bereich der Grobporen sowie als leichte Abnahme des Porenvolumens im Bereich feinerer Poren bemerkbar machte (Abb. 1). Bezüglich des Lockerungseffektes waren zwischen den verschiedenen Bearbeitungsgeräten und -intensitäten allerdings keine deutlichen Unterschiede erkennbar. Besonders unterschieden sich also auch die Varianten mit „normaler“ nicht von jenen mit „erhöhter“ Bearbeitungsintensität und die Bodenseparierung nicht wesentlich von den übrigen Verfahren (Abb. 2).

Diese durch die Bodenbearbeitung verursachte Bodenlockerung war jedoch nicht mit einer **Stabilisierung des Gefüges** verbunden, so dass sich der Lockerungseffekt über den Winter langsam wieder abschwächte und

Problemstellung, Zielsetzung, Verfahren und Versuchsanlage sind im vorgehenden Beitrag «Bodenbearbeitung: Energie-Input und Saatbettstruktur» (Spiess *et al.* 2000) auf Seite 348 erörtert. Nachfolgend wird auf die Auswirkungen der unterschiedlichen Bearbeitungssysteme und -intensitäten eingetreten.

Abb. 1. Veränderung der Porenvolumina <30 hPa (=GGP), <100 hPa (=GGP+GP) und <1000 hPa (=GGP+GP+GMP) sowie des Gesamtporenvolumens GPV vom Herbst 1997 zum Frühsommer 1998 (Versuch A).

- A = Stoppelfeld
- B = Zinkenrotor normal
- C = Federzinkenegge normal, Zinkenrotor intensiv, Bodenseparator
- D = Federzinkenegge intensiv
- E = Kreiselegge normal, Kreiselegge intensiv
- F = Bodenseparator
- G = Federzinkenegge normal, Zinkenrotor normal, Zinkenrotor intensiv
- H = Kreiselegge normal, Kreiselegge intensiv
- I = Federzinkenegge intensiv
- K = Stoppelfeld



der Boden sich setzte. Bezogen auf das sich einstellende neue Gleichgewicht hätte demnach der Gefügestand nach der Bodenbearbeitung einer Überlockerung des Bodens entsprochen. Allerdings trat selbst im unbearbeiteten Stoppelfeld eine - geringfügige - **Setzung des Bodens** im Sinne einer Abnahme der Porosität beziehungsweise einer Zunahme der scheinbaren Dichte auf. In den bearbeiteten Verfahren erfolgte dieser Setzungsvorgang anscheinend nicht überall im selben Ausmass: Stabiler schien das mit dem Zinkenrotor gelockerte Bodengefüge zu sein, während nach Kreiselegen-Einsatz deutlich grössere Grobporen-Verluste, das heisst stärkere Setzungen erfolgten.

Lockerer Saatbett fördert N-Mineralisierung

Um den Einfluss der verschiedenen Bearbeitungssysteme und -intensitäten auf den Verlauf der N-Mineralisierung verfolgen zu können, wurden in 55 cm Bodentiefe mittels **Sauglysimeter** (vier Stück/Verfahren in Wiederholung II) Bodenwasserproben entnommen und auf den Nitratgehalt analysiert. Diese Beprobungen erfolgten sporadisch während einer mehrmonatigen Bracheperiode ohne Düngung und begannen bereits kurz nach der Saatbettbereitung. Zur Verifikation wurde beim Sommerversuch (A) an zwei Terminen und im Frühjahrsversuch (B) an einem Termin jeweils eine **N_{min}-Beprobung** durchgeführt. Die N_{min}-Ergebnisse bestätigen weitgehend die tendenziellen Unterschiede bei den Nitratgehalten im Bodenwasser.

Nach anhaltender Trockenheit im **Sommerversuch (A)** vom

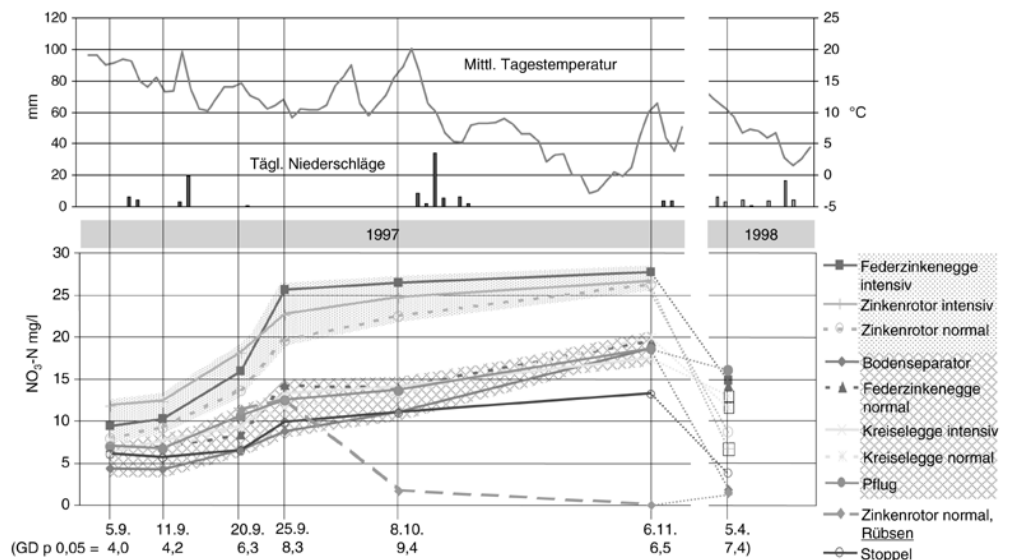


Abb. 2. Eine übermässige Bearbeitungintensität ist sowohl hinsichtlich der Energieeffizienz als auch dem Gefügestand und der bodenbiologischen Aktivität nicht vorteilhaft.

19.8.1997 war die Ausgangssituation bei Beginn der Bodenwasserentnahme am 5.9.1997 durch eine relativ tiefe Nitratkonzentration gekennzeichnet. Dabei zeigten sich bereits deutliche Verfahrensunterschiede, die sich in der Folge zum Teil noch vergrösserten, weil die Mineralisierungsbedingungen durch Niederschläge begünstigt wurden (Abb. 3). Die höchste Nitratkonzentration stellte sich im Spätherbst ein, fiel in den Wintermonaten aber bis zum Frühjahr stark ab. Die Verfahren «Federzinkenegge intensiv» so-

wie «Zinkenrotor normal und intensiv» zeigen wesentlich höhere Nitratkonzentrationen als alle anderen Verfahren (inkl. der unbearbeiteten Pflugfurche), die nahe beieinander liegen und sich nicht signifikant unterscheiden. Das tiefste Niveau der Nitratkonzentration im Bodenwasser zeigte im späten Herbst die unbearbeitete Stoppel-Kontrollparzelle. Die Erwartung, dass intensivste Bearbeitung beziehungsweise höchste Saatbettfeinheit eine entsprechend hohe N-Mineralisierung auslöse, hat sich nicht bestätigt. Bei einer

Abb. 3. Versuch A: Verlauf der Niederschläge, der Lufttemperatur und des Nitratgehaltes (NO₃-N) im Bodenwasser in 0,55 m Bodentiefe (vier Wiederholungen/Verfahren).



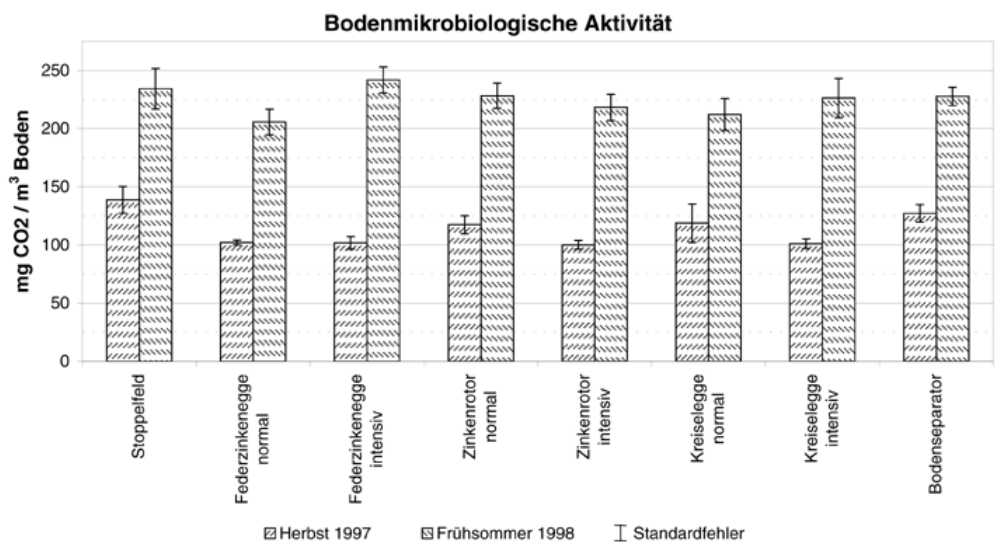
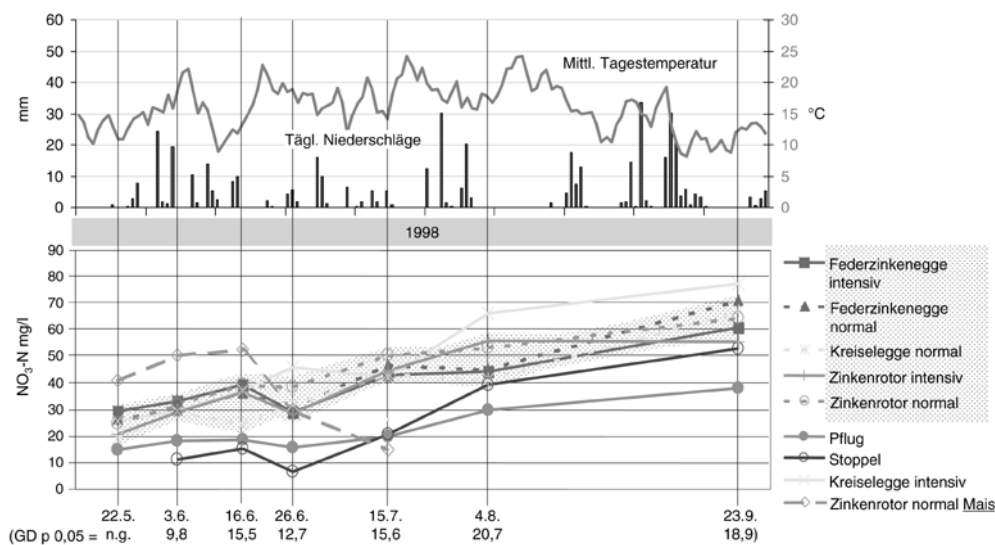


Abb. 4. (oben) Versuch B: Verlauf der Niederschläge, der Lufttemperatur und des Nitratgehaltes (NO₃-N) im Bodenwasser in 0,55 m Bodentiefe (vier Wiederholungen/Verfahren).

Abb. 5. Mikrobiologische Aktivität nach unterschiedlicher Saatbettbereitung zu verschiedenen Zeitpunkten (Versuch A).

Kontrollparzelle mit Rübseneinsaat «Zinkenrotor normal» wurde der mineralisierte Nitratstickstoff nach einigen Wochen vollständig durch die Pflanze aufgenommen.

Eine wesentlich höhere Nitratkonzentration von 15 bis 30 mg/l zeigte der **Frühjahrsversuch** (B) vom 30.4.1998 einige Wochen nach der Bearbeitung (Abb. 4). Auch hier waren die Verfahrenspartellen brach gehalten. Alle Verfahren unterschieden sich zu diesem Zeitpunkt vorerst noch nicht signifikant. Infolge einer N-Düngergabe von 39 kg/

ha lagen die Nitratwerte bei einer Kontrollparzelle «Zinkenrotor normal» im Mais (Saat am 4.5.1998, Volldüngung zu Saat) anfänglich deutlich höher, fielen dann aber im Laufe des Vorsommers unter alle anderen Verfahren in der Brache. Hier war nach hohen Niederschlägen im Juni zunächst ein leichter Abfall, dann aber eine stetige Zunahme der Nitratkonzentration bis zu über 60 mg/l im September 1998 zu verzeichnen. Die schwächste Mineralisierung wiesen wiederum die Pflug- und Stoppel-Kontrollparzellen, die stärkste N-Freisetzung die Verfahren

«Kreiselegge intensiv» und «Zinkenrotor intensiv und normal» auf. Die übrigen Bearbeitungen unterscheiden sich nicht signifikant.

Biologische Aktivität: Im Herbst grössere Unterschiede (Versuch A)

Als Mass für die biologische Aktivität wurde die CO₂-Freisetzung an Zylinderproben mit ungestörtem Gefüge bestimmt. Dafür wurden dieselben Proben wie für die Bestimmung der bodenphysikalischen Eigenschaften verwendet. Dazu wurden die Zylinderproben mit Wasser gesättigt, auf eine definierte Bodenfeuchte (-30 hPa) eingestellt und dann während 96 h inkubiert. Die CO₂-Freisetzung von Stunde 24 bis 96 wurde gemessen.

Die **bodenmikrobiologische Aktivität** (CO₂-Freisetzung aus den Zylindern) ist bei den Proben vom Frühsommer wesentlich höher als bei denjenigen vom Herbst (Abb. 5). Zwischen den Verfahren sind die Unterschiede im Herbst noch ausgeprägt (zirka 40 % zwischen Verfahren mit der tiefsten und demjenigen mit der höchsten Aktivität). Wegen der hohen Streuungen ist jedoch nur der Unterschied zwischen der Stoppel-Kontrollparzelle und den Bearbeitungen signifikant. Demgegenüber sind die Verfahrensunterschiede im Frühsommer eher gering (zirka 20 % zwischen maximaler und minimaler Aktivität) und auch nicht signifikant. Im Herbst wurde die höchste Aktivität in der Stoppel-Kontrollparzelle gefunden, gefolgt vom Verfahren «Bodenseparator». Mittlere Aktivitäten weisen die Verfahren «Zinkenrotor normal» und «Kreiselegge normal» auf, die restlichen Verfahren liegen tiefer und zeigen vergleichbare Werte. Im Frühsommer ist die Aktivität im Verfahren «Federzinkenegge intensiv» am höch-

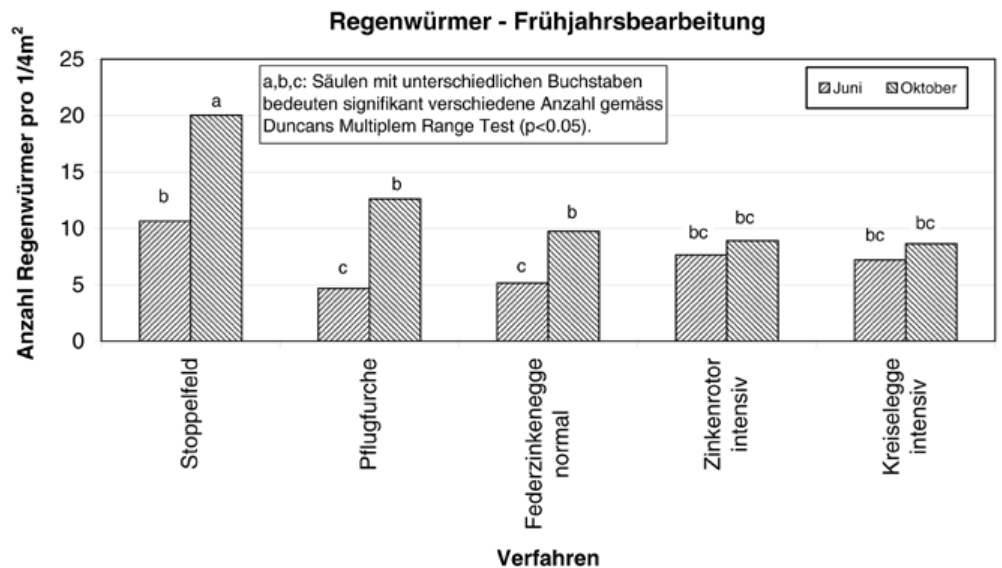
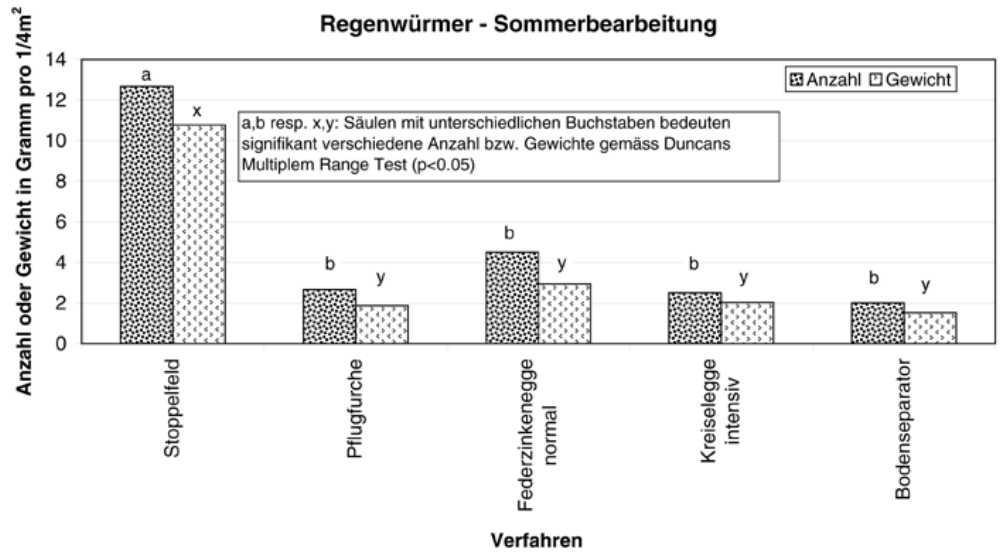
sten, gefolgt von den beiden Varianten der Stoppel-Kontrollparzelle und den Verfahren «Bodenseparator» welche bereits im Herbst die höchsten Aktivitäten ausgewiesen hatten.

Ein Vergleich der Aktivitätswerte mit der **Porenverteilung** im Herbst zeigt, dass die Stoppel-Kontrollparzelle mit der höchsten Aktivität deutlich weniger Grobporen und grobe Mittelporen sowie einen etwas höheren Anteil an Mittel- und Feinporen aufweist als alle andern Verfahren. Gegen die Annahme eines Zusammenhangs zwischen Aktivität und Porenverteilung spricht jedoch, dass sich die Verfahren mit mittleren Aktivitäten (Bodenseparator, Zinkenrotor normal und Kreiselegge normal) in Bezug auf die Porenverteilung nicht von den restlichen Verfahren unterscheiden. Bei der Frühsommerbeprobung sind die Anteile der Grobporen und groben Mittelporen etwas tiefer und feiner differenziert. Ein klarer Zusammenhang zu den Aktivitätswerten kann jedoch nicht festgestellt werden.

Die Tatsache, dass das Verfahren mit dem geringsten Anteil an Grobporen höhere Aktivitäten aufweist, lässt darauf schliessen, dass in keinem Fall Bedingungen mit Restriktionen durch die **Durchlüftung** vorhanden waren. Der Grobporenanteil von über 12 % in allen Verfahren unterstützt diese Aussage.

Pflügen dezimiert Regenwürmer stärker als Folgebearbeitung

Die Bodenbearbeitung beeinflusst auch die Bodenfauna, da sie deren Lebensraum umgestaltet. Regenwürmer wurden als Vertreter der Makrofauna ausgewählt und mit der Senf-Methode (Högger 1993) extrahiert. Im Versuch A im Oktober 1997 erfolgte die Bestandaufnahme ohne Nachgraben, im Versuch B



im Jahre 1998 mit zusätzlichem Nachgraben. Je Verfahren wurden drei Parzellen mit je drei Extraktionen untersucht. Zum besonderen Vergleich diente die unbearbeitete Stoppel-Kontrollparzelle.

Im Sommersversuch (A) waren zwei Monate nach der Bodenbearbeitung die Anzahl und das Gewicht der Regenwürmer in der Stoppel-Kontrollparzelle signifikant höher als in den anderen, gepflügten Verfahren, die sich nicht voneinander unterscheiden (Abb. 6).

Im Frühjahrsversuch (B) war die Anzahl der Regenwürmer im Juni, fünf Wochen nach der letzten Bodenbearbeitung, in der Stoppel-Kontrollparzelle höher als in der Pflug-Kontrollparzelle und dem Verfahren «Federzahnkultivator normal» (Abb. 7). Sie unterschied sich aber nicht von derjenigen in den Verfahren «Zinkenrotor intensiv» und «Kreiselegge intensiv». Auffällig ist ein deutlicher Anstieg der Populationen in den Stoppel- und Pflug-Kontrollparzellen und dem Verfahren Federzinkenegge normal von Juni bis

Abb. 6. (oben) Anzahl und Gewichte der Regenwürmer im Oktober 1997 nach Sommerbearbeitung (Versuch A).

Abb. 7. Anzahl der Regenwürmer im Juni und Oktober 1998 nach Frühjahrsbearbeitung (Versuch B).

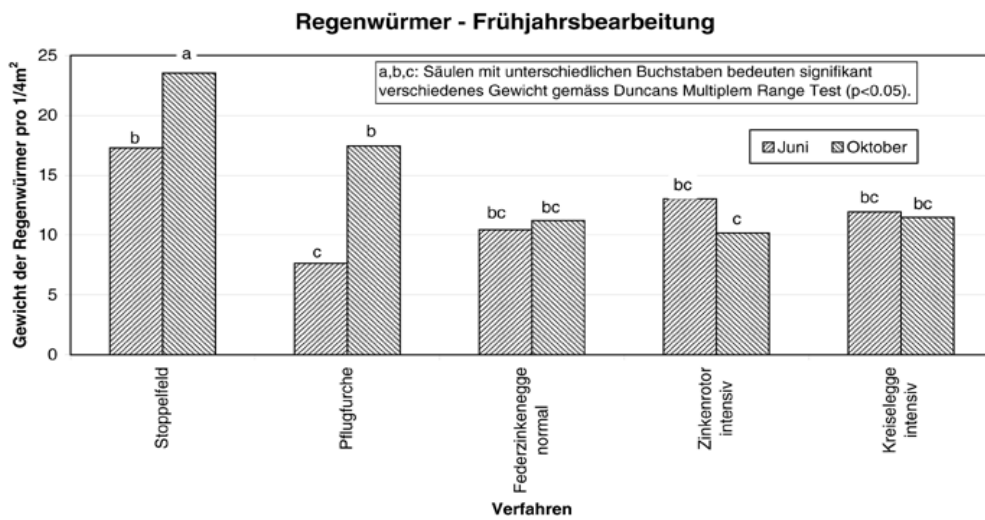


Abb. 8. Gewichte der Regenwürmer im Juni und Oktober 1998 nach Frühjahrsbearbeitung (Versuch B).

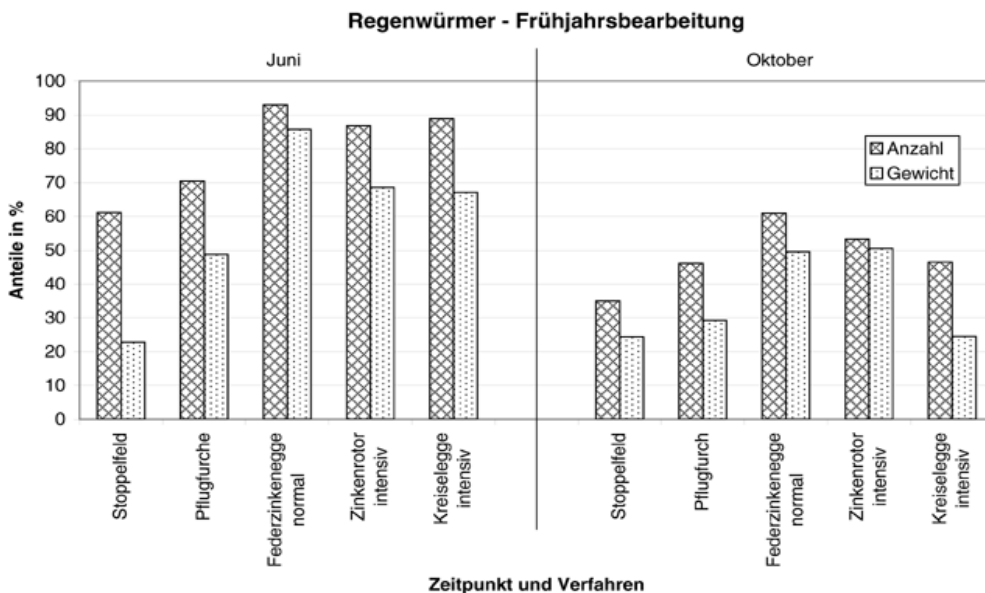


Abb. 9. Anteile der beim Nachgraben gerundenen Regenwürmer an der Gesamtzahl und dem Gesamtgewicht im Juni und Oktober 1998 (Versuch B).

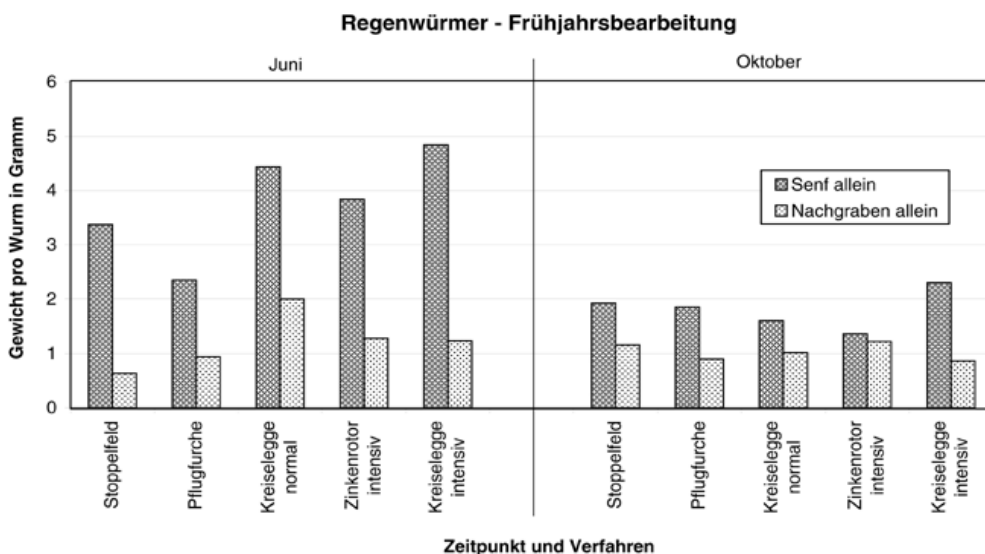


Abb. 10. Durchschnittliches Gewicht der mit Senf allein und mit Nachgraben allein gefundenen Regenwürmer im Juni und Oktober 1998 (Versuch B).

Oktober. Bei den Gewichten waren die Verhältnisse ähnlich (Abb. 8).

Im Juni war der Anteil der beim Nachgraben gefundenen Regenwürmer an der Totalanzahl zwischen 60 und 90 % und im Oktober zwischen 35 und 61 %. (Abb. 9) Die Gewichte der beim Nachgraben gefundenen Würmer hatten im Juni einen Anteil von 20 bis 85 % und im Oktober einen solchen von 24 bis 50 %.

Im Juni waren die Durchschnittsgewichte der mit Senf allein extrahierten Regenwürmer wesentlich grösser als diejenigen der mit Nachgraben allein extrahierten (Abb. 10). Dies bedeutet, dass im Juni mit Senf allein vor allem die grossen, aktiven Würmer gefunden wurden, die für die Bodenbildung wichtig sind. Im Oktober war das Durchschnittsgewicht mit Senf allein kleiner als im Juni; mit Nachgraben allein war es zu beiden Zeitpunkten etwa gleich gross. Die durch Senf allein geförderten Stückzahlen und Gewichte korrelierten unterschiedlich mit den Gesamtstückzahlen und -gewichten.

Kein Einfluss auf den Ertrag bei Wintergerste (Versuch A)

Nebst den bracheliegenden Beprobungsparzellen wurde ein Teil der bearbeiteten Fläche für Kontrollzwecke im Versuch A mit Rüben und Wintergerste und im Versuch B mit Mais angesät, bei betriebsüblicher Düngung. Die Ertragshebung bei Gerste (Kornträge von 58,5 bis 64,3 kg, Pflugfurche ohne Bearbeitung: 62,4 kg/a!) ergab keine gesicherten Unterschiede im Korntrag, dem Tausendkorngewicht und dem Hektoliter-Gewicht. Bei den Varianten «intensiv» sowie der Bodenseparierung resultierten lediglich etwas höhere Pflanzenzahlen je Flächeneinheit.

Folgerungen

Die bei den intensiven Bearbeitungsvarianten erfolgte zusätzliche Investition an Energie (und Zeit) hat sich hinsichtlich Lockerungsgrad des bearbeiteten Gefüges kurzfristig nicht erkennbar gelohnt. Auch unterschiedliche Bearbeitungsgeräte führten zu keinen wesentlich unterschiedlichen unmittelbaren Lockerungseffekten.

Erstaunlich ist die je nach Bearbeitungsgerät festgestellte unterschiedliche Stabilität des gelockerten Bodengefüges, das heisst die Dauer des Lockerungserfolges: Hier scheinen gerätetypische Unterschiede zu bestehen, die systematisch nachgeprüft werden sollten.

Durch die Bearbeitung wird die N-Mineralisierung angeregt. Beeinflusst durch Vorkultur und Witterungsverlauf tritt bei Brauche in der Folge ein mehr oder weniger starker Anstieg der Nitratkonzentration im Bodenwasser ein, die dann in den Wintermonaten durch Auswaschung wieder reduziert wird. Die grössten Differenzen zwischen den verschiedenen Bearbeitungsver-

fahren wurden mit rund 20 mg/l erst nach über einem Monat erreicht. Nicht die feinstmögliche Bearbeitung, sondern eine mittlere Zerkleinerung der Schollen führte zum stärksten Anstieg der Nitratkonzentration. Könnte dazu auch der unterschiedliche Mischeffekt der Geräte beigetragen haben? Folgt nach der Bearbeitung jedoch die Aussaat einer Begrünungs- oder Kulturpflanze, sinkt die Nitratkonzentration im Bodenwasser mit fortschreitender Pflanzenentwicklung nach einigen Wochen bedeutend ab.

Die Unterschiede beim Gefügestand des Bodens (Lagerungsdichte, Porenverteilung) scheinen weder im Herbst noch im darauffolgenden Frühsommer zu limitierenden Bedingungen für die bodenmikrobiologische Aktivität als Folge von beeinträchtigtem Lufthaushalt geführt zu haben. Für die Praxis würde dies bedeuten, dass aus bodenmikrobiologischer Sicht bereits das sparsamste Bodenbearbeitungsverfahren genügt.

Die Regenwurmuntersuchungen bestätigen, dass das Pflügen den Bestand stark dezimieren

kann. Zwischen dem Pflügen und den Folgebearbeitungen ergaben sich jedoch keine wesentlichen Unterschiede. Im Juni war der durch Nachgraben geförderte Anteil an der Gesamtpopulation grösser als im Oktober, so dass je nach Zeitpunkt und Zweck der Untersuchungen auf das Nachgraben nicht verzichtet werden kann.

Literatur

- Högger Ch., 1993. Mustard flour instead of formalin for the extraction of earthworms in the field. *Bull. Bodenkundl. Ges. Schweiz.* 17, 5-8.
- Spiess E., Anken T., Heusser J., Weisskopf P., Högger C. und Oberholzer H.-R., 2000. Bodenbearbeitung: Energie-Input und Saatbettstruktur. *Agrarforschung* 7(8), 348-353.

RÉSUMÉ

Effets du travail du sol

Des intensités de travail du sol excessivement élevées n'ont pas permis d'atteindre de meilleurs résultats, même pas au niveau de l'ameublissement du sol. En ce qui concerne la stabilité de la structure ameublie du sol, il existe cependant des différences entre les divers outils. L'augmentation de la concentration en nitrate provoquée par le travail du sol peut être significativement réduite par des plantes de couverture appropriées. Contre toute attente, le travail du sol le moins intensif ne s'est pas traduit par la minéralisation la plus importante. De ce fait, les différences entre les systèmes de travail du sol sont à considérer comme insignifiantes. Les systèmes de travail du sol les moins intensifs sont suffisants du point de vue micro-biologique. Contrairement au travail du sol répété, la population de vers de terre n'a été significativement diminuée que par le labour.

SUMMARY

Effects of soil tillage

Excessively high work intensities did not lead to better results, not even with regard to soil loosening. In terms of the stability of the loosened soil structure, however, there are differences between the various implements. The increase of nitrate concentration due to tillage can be reduced significantly by planting appropriate green covers. Against the expectations, the least intensive tillage did not lead to the highest mineralisation. For this reason, the differences between the systems have to be considered as being insignificant. From a microbiological point of view, the least intensive tillage methods are sufficient. As opposed to repeated soil tillage, only ploughing led to a significant decrease of the earthworm population.

Key words: soil tillage, consequences, soil structure, N mineralisation, microbiological activity, earthworms