

Auswirkungen auf das Bodenleben

Werner JÄGGI, Hans-Rudolf OBERHOLZER und Mario WALDBURGER, Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich

Beim Maisanbau fördert die Begrünung zwischen den Reihen die bodenbiologische Aktivität. Sie liefert den Bodenorganismen nicht nur Nährstoffe, sondern bewirkt auch ein vorteilhaftes Mikroklima. Maiswiese begünstigt vor allem die Bodentiere, weil sie hier nicht durch Bodenbearbeitung geschädigt wurden. Grünroggen mit der grössten Grünmasse- und Wurzelproduktion förderte die Bodenmikroorganismen am meisten.

Seit einigen Jahren sind neue Maisanbauverfahren in Entwicklung mit dem Ziel, die Probleme der Erosion, der Bodenverdichtung, der Nitratauswaschung und des Herbizideinsatzes zu mindern. Die neuen Anbautechniken werden sich auch auf die Bodenlebewesen auswirken. In einem entsprechenden Feldversuch wurden deshalb die Auswirkungen auf Regenwürmer, Springschwänze (Collembolen) und einige bodenmikrobiologische Kennwerte untersucht.

Folgende Maisanbauverfahren wurden auf dem Areal der Eidgenössischen Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz während vier Jahren (1990-1993) miteinander verglichen:

1. Konventionell: Pflügen im Herbst, Unkrautbekämpfung intensiv, Herbizide ganzflächig Vorauflauf (VA).
2. Untersaat: Pflügen im Frühjahr, ein- bis zweimal hacken, Herbizide im Band VA, Einsaat (Klee-Gras-Mischung).
3. Grünroggen: Pflügen im Herbst, Schnitt ein- bis zweimal im Frühjahr (mulchen), Frässaat, Herbizide im Band VA.
4. Maiswiese: Frässaat in bestehende Klee-Gras-Wiese (OH 330, Ansaat im Mai 1989), Schnitt zwischen den Reihen (1. Schnitt ernten, weitere Schnitte mulchen), Herbizide im Band VA.

Die Versuchsanlage und Durchführung ist im Artikel von Bigler *et al.* (1995) ausführlich beschrieben.

Regenwürmer vermehren sich rasch

Die Regenwürmer zählen zu den wichtigsten Bodentieren. Gewichtsmässig stellen sie den weitaus grössten Anteil der Bodenfauna dar. Durch ihre Tätigkeit tragen sie wesentlich zur Verbesserung der physika-

lischen und chemischen Bodeneigenschaften bei.

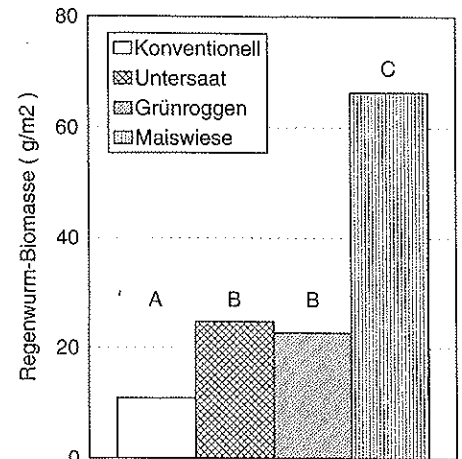
Im Frühjahr und Herbst jedes Versuchsjahres wurden Anzahl und Gewicht der vorkommenden Regenwürmer halbquantitativ bestimmt. Mit einer 0,1%igen Formaldehydlösung wurden sie aus dem Boden ausgetrieben. 20 Liter dieser Lösung wurden in zwei Aufgüssen auf eine durch einen Metallrahmen begrenzte Fläche von 0,5 m² gebracht. Dies wurde pro Parzelle dreimal wiederholt. Nachgrabungen wurden nicht durchgeführt.

Im Durchschnitt der vier Versuchsjahre wies das Verfahren «Maiswiese» am meisten Regenwürmer auf, gefolgt von «Untersaat» und «Grünroggen». Am wenigsten dieser Tiere konnten im Verfahren «Konventionell» gefunden werden (Abb. 1). Die Einzelwerte zeigten für jedes Verfahren jedoch eine unterschiedliche Populationsdynamik:

Beim «konventionellen» Maisanbau war der Regenwurmbesatz im Frühjahr immer gering (Abb. 2a). Bis im Herbst nahmen Anzahl und Gewicht stark zu. Im darauffolgenden Frühjahr war das Niveau aber wiederum gleich wie im Jahr zuvor. Während der Versuchsdauer bewegten sich Zu- und Abnahme immer etwa im gleichen Bereich.

Bei «Untersaat» nahmen die Werte von Frühjahr zu Frühjahr zu, wobei sich die Ergebnisse im Herbst nur wenig von jenen im Frühjahr unterschieden (Abb. 2b). Im gesamten wies dieses Verfahren eine stetige Zunahme der Regenwurmpopulation auf.

Beim «Grünroggen» waren die Werte im Herbst 1991 und im Herbst 1993 hoch, im übrigen war jedoch keine ausgeprägte Populationszunahme festzustellen (Abb. 2c).



Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (Duncan-Test, $P = 0.05$)

Abb. 1. Durchschnittliche Regenwurm-Biomasse während vier Jahren bei verschiedenen Maisanbauverfahren.

Die «Maiswiese» wies bereits zu Beginn mehr Regenwürmer auf als die anderen Verfahren. Im Verlauf des Jahres 1990 vermehrten sie sich massiv (Abb. 2d). Über den gesamten Zeitraum des Versuches nahm die Regenwurmpopulation stark zu.

Bodenbearbeitung vermindert Regenwürmer

Durch den Vergleich der einzelnen Ergebnisse mit den Bewirtschaftungsmassnahmen lassen sich gewisse Einflussfaktoren erkennen:

Beim «konventionellen» Maisanbau erfolgte während des Sommerhalbjahres keine Bodenbearbeitung, so dass sich die Regenwürmer ungestört entwickeln konnten. Durch das Pflügen im Winter wurde die Population jedoch wieder stark dezimiert. Bis zur nächsten Austreibung im Frühjahr vermochte sie sich nicht zu regenerieren (Abb. 2a).

Bei «Untersaat» wurde der Boden erst nach der Regenwurmaustreibung im Frühjahr bearbeitet. Dadurch war der Anstieg der Population bis im Herbst deutlich

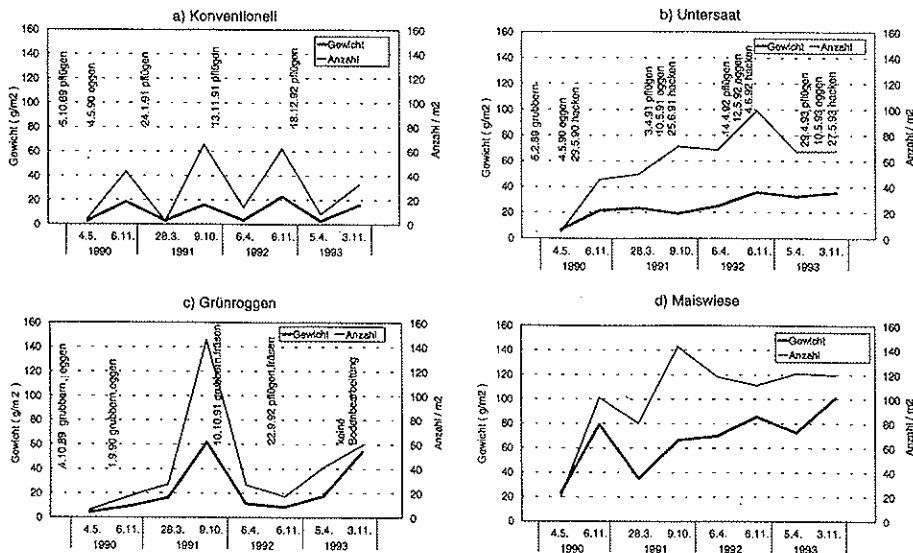


Abb. 2. Biomasse (Gewicht) und Anzahl der Regenwürmer sowie Datum der Bodenbearbeitung während vier Jahren bei verschiedenen Maisanbauverfahren.

geringer als bei den anderen Verfahren. Da sich die Regenwürmer im Frühjahr jedoch stark vermehren und kleine Tiere eher eine Überlebenschance haben, nahm die Population trotz Bodenbearbeitung bis zur nächsten Austreibung noch etwas zu. Dazu trug auch das Nahrungsangebot durch die Vegetation zwischen den Reihen bei. Über die gesamte Versuchsdauer ergab sich ein Populationszuwachs, der im ersten Versuchsjahr besonders deutlich ausfiel (Abb. 2b).

Bei «Grünroggen» erfolgte die Bodenbearbeitung in den Monaten September oder Oktober. 1991 und 1993 wurden die Regenwürmer vorher ausgetrieben, wobei sich hohe Werte ergaben. 1990 und 1992 geschah dies erst nachher, mit sehr niedrigen Ergebnissen. Dieses Beispiel zeigt die Schädigung der Regenwürmer durch Bodenbearbeitung besonders deutlich. Der hohe Populationszuwachs im Grünroggen wurde jährlich wieder vollständig zerstört (Abb. 2c).

Bei «Maiswiese», ohne Bodenbearbeitung und mit einem dauernden Nahrungsangebot, konnten sich die Regenwürmer am besten entwickeln. Die Vegetation zwischen den Reihen dürfte sich durch die Beschattung des Bodens zusätzlich vorteilhaft auf das Mikroklima ausgewirkt haben (Abb. 2d).

Angepasste Anbautechnik

«Der Pflug ist eine der ältesten und wertvollsten menschlichen Erfindungen; doch lange bevor erfunden worden war, wurde der Boden schon regelmässig gepflegt und wird es auch heute noch auf dieselbe Art und Weise, nämlich durch die Aktivität der

Regenwürmer», so lautet ein viel zitierter Ausspruch von Darwin (1881). Die Pflanzenenerträge werden durch die Bodenbearbeitung stark erhöht, hauptsächlich durch die Förderung der Bodendurchlüftung und Wasserversickerung sowie das Einmischen organischer Rückstände. Mit der Entwicklung der Technik wachsen jedoch auch die Fehlermöglichkeiten infolge unsachgerechten Einsatzes, zu erwähnen sind vor allem Bodenverdichtung und Zerstörung durchgängiger Poren. Bodenbearbeitung führt auch zu mechanischer Schädigung der Regenwürmer, andererseits dient ihnen eingearbeitetes organisches Material als Futter (Lee 1985). Zahlreiche Untersuchungen zeigten in Ackerböden eine Regenwurmbiomasse von 25 bis 100 g/m². Um den Pflanzen hinreichend geeignete bodenphysikalische Verhältnisse zu bieten, reicht jedoch in vielen Fällen die Akti-

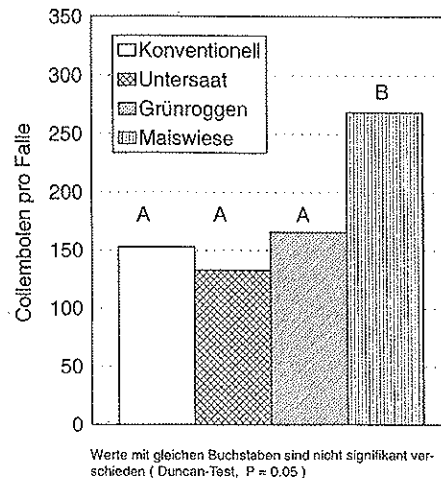


Abb. 3. Anzahl Springschwänze (Collembolen) pro Falle während sieben Tagen. Mittelwert aus allen Fängen von Mitte Mai bis Mitte September, Durchschnitt von vier Jahren.

vität der Regenwürmer allein nicht aus (Weisskopf und Zihlmann 1995). Im Sinne einer integrierten Landwirtschaft geht es darum, die Vorteile von Regenwürmern und moderner Technik möglichst optimal aufeinander abzustimmen. Im Futterbau ohne Bodenbearbeitung erreicht die Biomasse der Regenwürmer Werte von 60 bis 300 g/m². Vorteilhaft stabile Verhältnisse stellen sich erst nach mehreren Jahren ein (Lee 1985). In einzelnen Fällen können sich jedoch gewisse Arten derart vermehren, dass sich in Hanglagen durch übermäßige Mengen an Kotaufstößen Probleme bei der Futterernte ergeben (Jäggi *et al.* 1993).

Am meisten Springschwänze in Maiswiese

Als Vertreter der Kleintiere wurden die auf der Bodenoberfläche lebenden Springschwänze (Collembolen) gezählt. Diese kommen auf allen Böden in grosser Zahl vor. Wegen ihrer Kleinheit, die meisten sind nur 1,5 bis 2 mm gross, werden sie jedoch kaum beachtet. Sie verzehren Überreste von Pflanzen und Tieren sowie Mikroorganismen. Durch Zerkleinerung fördern sie den Umsatz der organischen Substanzen und tragen zur Humusbildung bei. Als Fangfallen wurden 2 dl-Becher im Boden versenkt. Diese wurden zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Zugabe von einigen Tropfen eines Detergens (z.B. Handy) bewirkten das Absinken der Tiere, so dass sie nicht fliehen konnten. Pro Parzelle wurden drei beziehungsweise pro Verfahren neun solche Fallen ausgelegt. Die Fangintervalle dauerten sieben Tage, abwechselungsweise mit sieben Tagen Unterbruch. Die Fangzeit dauerte von Mitte Mai bis Mitte September.

Während der vierjährigen Versuchsdauer ergaben sich in der Maiswiese stets höhere Fangzahlen als in den übrigen Anbauverfahren. Letztere unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Abb. 3). Die Maiswiese bot diesen Tieren bessere Lebensbedingungen, weil sie hier nicht durch Bodenbearbeitung gestört wurden und ihnen die Dauervegetation ununterbrochen Nahrung lieferte sowie ein geeignetes Mikroklima bot. Von Jahr zu Jahr unterschieden sich die Fangzahlen etwas, was auf den unterschiedlichen Witterungsverlauf zurückzuführen sein dürfte. Die Verhältnisse zwischen den Anbauverfahren veränderten sich jedoch nur unwesentlich.

Mit dieser Fangmethode wurde nur ein geringer Teil der vorkommenden Collembolen erfasst. Diese Tiergruppe umfasst viele Arten mit unterschiedlicher Lebensweise. Die höchste Populationsdichte befindet sich in einer Bodentiefe von 5 bis 7 cm. Die gesamte Collembolenpopulation kann in einem Wiesenboden bis zu 40'000 Individuen pro m² erreichen, was jedoch lediglich einem Gewicht von 300 mg/m² entspricht.

Mit der hier verwendeten Methode wurden jedoch nur bewegungsaktive, auf der Bodenoberfläche lebende Arten erfasst. Da die Haut vieler Collembolen sehr dünn und ihr Körper sehr fein strukturiert ist, löste sich zudem ein Teil der in die Fallen gesprungenen Tiere schnell und rückstandslos auf. Deshalb konnten nur die robusteren Arten erfasst werden. Trotz dieser doppelten Selektion dürften die Ergebnisse einen Hinweis auf die Auswirkung verschiedener Anbauverfahren auf die im und auf dem Boden lebenden Kleintiere geben.

Bodenmikrobiologische Kennwerte

In den ersten drei Jahren wurde im Spätsommer in jeder Parzelle zwischen den Maisreihen eine Bodenmischprobe (12 Einstiche) entnommen und im Labor analysiert. Um die Auswirkung der einzelnen Maisanbauverfahren im letzten Versuchsjahr mit grösserer Sicherheit erfassen zu können, wurden 1993 pro Parzelle je vier Bodenmischproben untersucht, die zur einen Hälfte im Frühling und zur andern Hälfte im Herbst sowohl zwischen als auch in den Reihen gestochen wurden. Folgende bodenmikrobiologische Kennwerte wurden bestimmt:

- Mikrobielle Biomasse (substratinduzierte Respiration SIR)
- Bodenatmung beziehungsweise CO₂-Freisetzung (Isermeyer)
- N-Mineralisierung im Brutversuch
- Zelluloseabbau im Brutversuch.

Neben der Verfügbarkeit von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen sind die Bodenmikroorganismen vom Luft- und Wasserhaushalt sowie der Temperatur des Bodens abhängig. Ihre Jahresdynamik wird deshalb sowohl durch die Bewirtschaftung als auch durch die Witterung beeinflusst. Um die Auswirkung der Anbausysteme festzustellen, wurde deshalb der Zeitpunkt der Probenahme in der zweiten Hälfte der Entwicklungsphase des Mais gewählt.

Damit die Messergebnisse verschiedener Jahre miteinander vergleichbar sind, sollten sich die Witterungsverhältnisse kurz vor der Probenahme nicht zu stark unterscheiden, das heisst die Bodenproben sollten nicht während einer Trocken- oder Regenperiode entnommen werden. In diesem Versuch bestimmten folgende Witterungsereignisse den Zeitpunkt der Probenahme:

1990: Juli und August sehr sonnig, bei mässiger Trockenheit; in der zweiten Auguhälfte häufig geringe Niederschläge. Entnahme der Bodenproben am 6. September.

1991: Juli, August und September überdurchschnittlich sonnig; im Juli normale Niederschlagsmengen, im August bis Mitte September ausserordentlich trocken, erst Ende September ergiebige Niederschläge. Probenahme am 5. Oktober.

1992: Juli normal besonnt, wärmster August seit Messbeginn, etwas trocken. Probenahme unter optimalen Bedingungen am 18. August.

1993: Während des Winters herrschte leichte Trockenheit. Im März stiegen die Temperaturen stetig, in der Woche vor der Probenahme erreichten sie 18 bis 20°C. Erste Probenahme am 20. März. Im Juli Niederschlagsrekorde und massive Temperaturschwankungen, August warm mit niederschlagsreichem und kühlem Ende, September bis Mitte Oktober immer kühl und nass. Zweite Probenahme am 20. Oktober.

Im Jahr 1993 ergaben sich für alle hier bestimmten bodenmikrobiologischen Kennwerte keine gesicherten Unterschiede zwischen den Proben, die zwischen und in den Reihen beziehungsweise im Frühling und Herbst entnommen wurden. Deshalb wird für das Jahr 1993 wie für die anderen Jahre nur der Durchschnittswert von den im Herbst zwischen den Reihen gestochenen Proben dargestellt.

Begrünung fördert die mikrobielle Biomasse

Im ersten Versuchsjahr unterschieden sich die Messwerte der verschiedenen Verfahren nur unwesentlich (Abb. 4a). In den folgenden Jahren variierte die mikrobielle Biomasse beim konventionellen Anbauverfahren nur wenig, während sie durch die Begrünung zwischen den Reihen gefördert wurde. War der Boden bereits während des Winters vor der Ansaat des Mais begrünt, so stieg dieser Kennwert stärker an als bei der später erfolgten Untersaat. Grünroggen mit der grössten Grünmasse- und Wurzelproduktion förderte die Vermehrung der Bodenmikroorganismen am stärksten, stärker als die etwas lückige Maiswiese. Die Begrünung lieferte den Bodenmikroorganismen nicht nur Nährstoffe, sondern schützte den Boden als Mulch auch vor Verschlämmung und verzögerte das Austrocknen.

Wenige Unterschiede in der Bodenatmung

Auch hier ergaben sich im ersten Versuchsjahr keine gesicherten Unterschiede zwischen den Verfahren (Abb. 4b). Im gesamten wies die CO₂-Freisetzung zwischen den Wiederholungen eine grosse Streuung auf, und zwischen den Anbausystemen ergaben sich nur wenige gesicherte Unterschiede. Beim konventionellen Anbau waren die Messwerte wiederum am niedrigsten. Nach dem trockenen

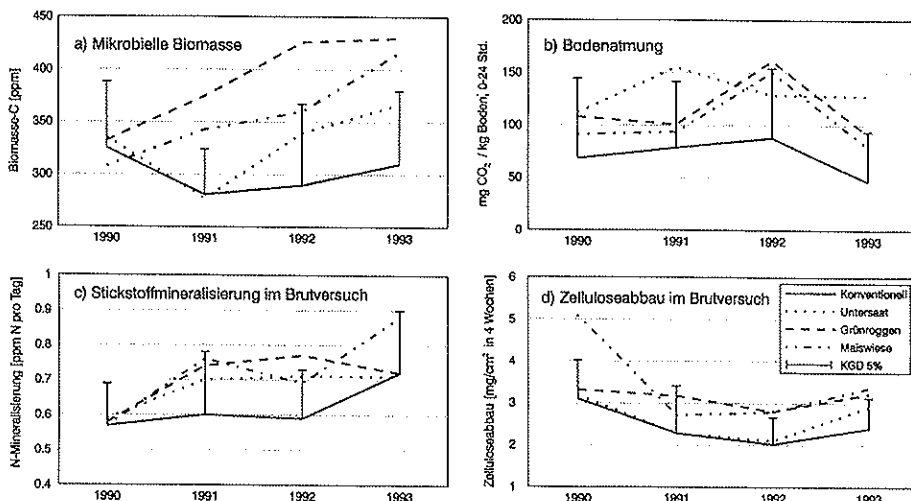


Abb. 4. Bodenmikrobiologische Kennwerte bei verschiedenen Maisanbauverfahren.

Sommer 1991 und dem nassen Sommer 1993 war die Bodenatmung bei Untersaat leicht erhöht; bei der relativ frühen Probenahme im sehr warmen Sommer 1992 waren die Werte bei Grünroggen und Maiswiese leicht höher als bei den übrigen Verfahren. Im Verlauf der Versuchsjahre zeigte sich keine eindeutige Entwicklungstendenz.

Stickstoffmineralisierung im Brutversuch

Im ersten Versuchsjahr waren die Ergebnisse sämtlicher Verfahren praktisch identisch (Abb. 4c). Trotz nur mässiger Streuung ergaben sich in den folgenden Jahren mit einer Ausnahme keine gesicherten Unterschiede. Aber auch hier zeichnete sich eine Förderung der mikrobiellen Aktivität durch die Begrünung ab. Eine klare Entwicklungstendenz während der Versuchsjahre war nicht zu erkennen.

Zelluloseabbau im Laborversuch

Im ersten Versuchsjahr lagen die Ergebnisse von drei Verfahren nahe beieinander (Abb. 4d). Der hohe Wert der Maiswiese dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die im Frühling 1989 angesäte Klee-Graswiese beim Aufwuchs des Mais zum grossen Teil zugrunde ging (Ammon *et al.* 1995). Durch Mineralisierung der dabei anfallenden eiweissreichen organischen Substanz wurde mineralischer Stickstoff freigesetzt, welcher die Vermehrung und Aktivität der zellulosezersetzenden Pilze und Bakterien förderte.

Auch der Zelluloseabbau war beim konventionellen Anbau am niedrigsten. 1991 gab es zwar keine gesicherten Unterschiede zwischen den Verfahren, 1992 und 1993 waren die erhöhten Werte bei Grünroggen und Maiswiese jedoch schwach gesichert. Der Zelluloseabbau wurde ebenfalls durch die Begrünung gefördert, ohne dass sich jedoch im Verlauf der Jahre eine Zunahme abzeichnete.

Mehr Bodentiere und -mikroorganismen

Beim Maisanbau fördert die Begrünung zwischen den Reihen sowohl die Bodentiere wie auch die Bodenmikroorganismen. Sie liefert diesen Lebewesen nicht nur Nahrung, sondern bietet ihnen auch vorteilhaftere Lebensbedingungen: Die

Pflanzendecke schützt vor intensiver Lichteinstrahlung, bewirkt eine höhere Feuchtigkeit der bodennahen Luftschicht, verzögert das Austrocknen des Bodens, dämpft den Aufprall des Regens und vermindert die Bodenverkrustung.

Durch die Bodenbearbeitung können viele Regenwürmer getötet werden, mit zunehmender Intensität wächst ihre Gefährdung. Bei Maiswiese mit der geringsten Bodenbearbeitung nahmen deshalb die Regenwürmer am stärksten zu. Bei Untersaat mit Bodenbearbeitung in den Monaten April bis Juni stieg ihre Anzahl ebenfalls leicht an. Bei Konventionell und Grünroggen mit Bodenbearbeitung im Herbst/Winter blieb ihre Anzahl hingegen praktisch konstant.

Die auf der Bodenoberfläche lebenden Springschwänze nahmen ebenfalls bei Maiswiese stark zu, was auf ein andauernd zuträgliches Mikroklima und Nahrungsangebot zurückzuführen sein dürfte. Zwischen den andern Anbauverfahren unterschied sich die Anzahl dieser Tiere nicht signifikant.

Die mikrobielle Biomasse nahm bei Grünroggen und Maiswiese von Jahr zu Jahr zu. Bei Untersaat war diese Entwicklung weniger deutlich. Bodenatmung, N-Mineralisierung und Zelluloseabbau im Brutversuch zeigten während der Versuchsdauer keine eindeutige Veränderung. Im gesamten gesehen unterschieden sich die bodenmikrobiologischen Messergebnisse zwischen den verschiedenen Maisanbauverfahren nicht sehr stark. Die zwar geringen Differenzen während der letzten zwei Versuchsjahre lassen trotzdem vermuten, dass sich das Bodenleben langfristig unterschiedlich entwickeln dürfte. Zu einer sicheren Beurteilung wäre eine längere Versuchsdauer notwendig.

LITERATUR

Ammon H.U., Mayor J.P. und Scherrer C., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993: Unkrautentwicklung und Bodenbedeckung. *Agrarforschung* 9 (2), 369-372.

Bigler F., Waldburger M. und Ammon H.U., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993: Die Verfahren im Vergleich. *Agrarforschung* 2 (9), 353-356.

Darwin C.R., 1881. The formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits. Murray, London. 326 pp.

Jäggi W., Högger C. und Cuendet G., 1993. Eine Regenwurmart erschwert die Bewirtschaftung von Wiesen im Toggenburg. *Landwirtschaft Schweiz* 6 (3), 169-176.

Lee K.E., 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney. 411 pp.

Weisskopf P. und Zühlmann U., 1995. Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993: Bodenphysikalische Parameter. *Agrarforschung* 2 (9), 357-360.

RÉSUMÉ

Influence de quatre modes de culture du maïs sur la vie du sol

On a comparé durant quatre ans les procédés conventionnels de culture du maïs, avec un semis intercalaire, un semis dans du seigle en vert et dans une prairie. On a observé les populations de vers de terre et de collemboles et procédé à quelques mesures microbiologiques. De manière générale, l'enherbement a permis un meilleur développement de la faune du sol et des microorganismes. Il leur a non seulement fourni les substrats nutritifs, mais aussi offert des conditions plus favorables. Les animaux du sol se sont mieux développés dans la prairie sous maïs, caractérisée par l'absence de travail du sol. Le seigle en vert, avec la plus forte production de biomasse aérienne et racinaire, a été particulièrement propice aux microorganismes.

SUMMARY

Effect of four maize cropping systems on life in the soil

In a four year experiment with the systems: conventional, intercrop, maize with rye cover crop and maize meadow, the populations of earthworms and collembola as well as several activities of soil microorganisms were determined. Vegetation between the maize rows favoured the animals and the soil microorganisms. This cover provided not only nutrients but created also a favourable microclimate. In maize meadow, which was never tilled except in the seed band, the earthworms and collembola reached the highest populations. The large vegetation mass and root production of the rye system especially stimulated the soil microorganisms.

KEY WORDS: Earthworms, collembola, soil microorganisms, maize cropping systems