

Umwelt

Profitiert der Boden von Buntbrachen?

Lisa Eggenschwiler, Rita Iseli, Jakob Nievergelt, Hans Conradin, Siegfried Keller und Christian Schweizer, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Auskünfte: Lisa Eggenschwiler, E-Mail: lisa.eggenschwiler@fal.admin.ch, Fax +41 (0)44 377 72 01, Tel. +41 (0)44 377 74 13

Zusammenfassung

Buntbrachen fördern zahlreiche Pflanzen- und Tierarten. **B**ob auch der Boden von diesem ökologischen Ausgleichselement profitiert, war bisher nicht bekannt. Aus diesem Grund wurden in den Kantonen Aargau und Basel-Landschaft zwei Bodenaspekte untersucht: Fünf- und sechsjährige Buntbrachen wurden hinsichtlich des Zustandes des Bodengefüges und des Vorkommens des insektenpathogenen Bodenpilzes *Metarhizium anisopliae* (Grüne Muskardine) mit Getreideflächen und Naturwiesen verglichen.

In den Naturwiesen war die Qualität des Bodengefüges sowohl im Ober- als auch im Unterboden signifikant besser als in den Getreideflächen. Die Werte der Buntbrachen lagen zwischen diesen beiden Nutzungsarten. *M. anisopliae* wurde in allen Flächen nachgewiesen. Er kam aber am häufigsten und mit den höchsten Dichten in den Naturwiesen vor. In den Buntbrachen war die Pilzdichte tendenziell höher als in den Getreideflächen. Buntbrachen können sich demnach positiv auf den Boden auswirken; bis sich Verbesserungen einstellen, dauert es aber mehrere Jahre.

Der Boden ist eine der wichtigsten Ressourcen für das Leben auf der Erde (Beste *et al.* 2001). Besonders kennzeichnend für einen gesunden Boden sind ein gut ausgebildetes, stabiles Bodengefüge und ein vielfältiges Bodenleben. Die Qualität des

Bodens kann auf unterschiedliche Art gestört werden. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen können insbesondere das Befahren mit schweren Maschinen sowie intensiver Pestizid- und Düngereinsatz die Bodenqualität beeinträchtigen. Die

Störung eines ökologisch funktionsfähigen Bodens führt mit der Zeit zu einer Verminderung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Im Ackerbau werden daher vermehrt extensive, konservierende Bodenbearbeitungssysteme in der Praxis angewandt, um die mechanischen Belastungen zu vermindern und die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht sicherzustellen (Schweizerische Eidgenossenschaft 1983; Weisskopf *et al.* 2005). Der biologische Landbau kann durch Verzicht auf Pestizide die Bodenfruchtbarkeit positiv beeinflussen (Mäder *et al.* 2002).

Buntbrachen als ökologische Ausgleichsflächen im Ackerbau werden ebenfalls umweltschonend bewirtschaftet: Sie werden nicht gedüngt, und der Einsatz von Pestiziden ist mit Ausnahme von beschränkten Herbizidbehandlungen untersagt (BLW 2004). Zudem unterbleibt wäh-

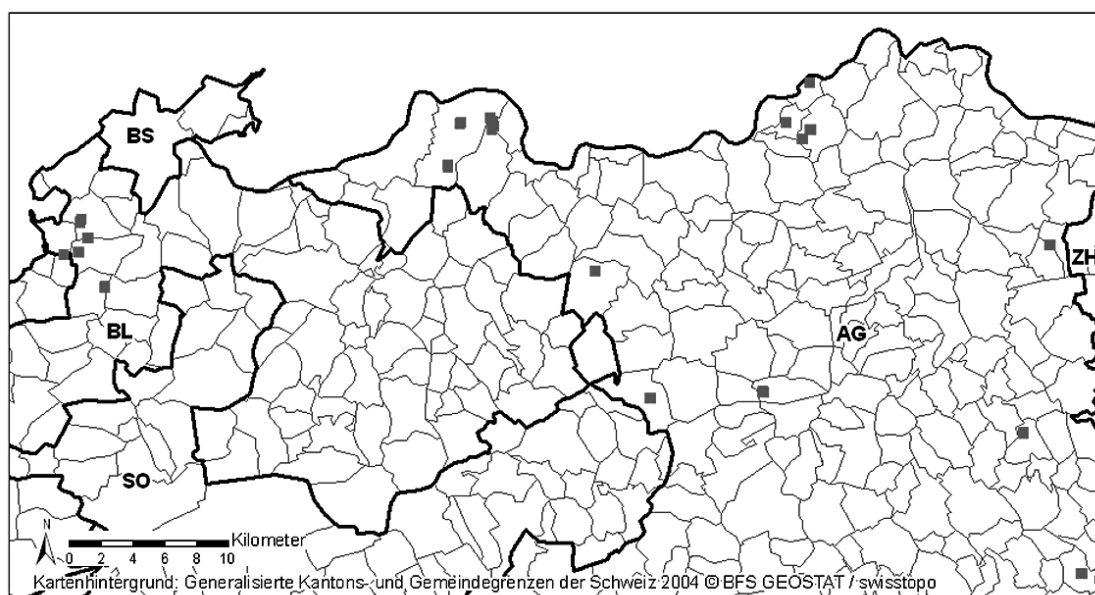


Abb. 1. Übersicht über die 20 beprobten Standorte.



Abb. 2. Fraktionen einer Bodenprobe aus dem Unterboden (25 bis 35 cm) der Naturwiese in Möhlin. (Foto: Rita Iseli, Agroscope FAL Reckenholz)

rend mehrerer Jahre eine Bodenbearbeitung. Ob Buntbrachen ebenfalls positive Effekte für den Boden haben können, wurde deshalb in einer Studie untersucht. Dabei wurden fünf- und sechsjährige Buntbrachen mit Getreideflächen und mindestens zehnjährigen Naturwiesen verglichen. Als Indikator für die Bodenqualität wurde das Bodengefüge untersucht. Es ist bestimmend für den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt sowie die Durchwurzelbarkeit des Bodens. Auch die Nährstoffweitergabe und -umwandlung und die biologische Aktivität hängen mit dem Zustand des Bodengefüges zusammen. Darum ist das Bodengefüge sehr wichtig für die Bodenfruchtbarkeit. Als weiterer Indikator wurde das Vorkommen eines natürlichen Schädlingsregulators, des insektenpathogenen Bodenpilzes *Metarhizium anisopliae* (Grüne Muskardine), erhoben. Dieser Pilz befällt insbesondere Käferarten und wird oft zur biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt. Sein Vorkommen könnte daher auch in ökologischen Ausgleichsflächen erwünscht sein. Über seine Verbreitung in Buntbrachen war bisher nichts bekannt.

Flächenauswahl

An 20 Standorten in den Kantonen Aargau und Basel-Landschaft wurden je eine fünf- oder sechsjährige Buntbrache, eine Getreidefläche (Winterweizen oder Wintergerste) und eine Naturwiese ausgewählt (Abb. 1). An den ausgewählten Standorten kamen die folgenden Bodentypen vor: An zehn Standorten eine Braunerde, an sechs eine Kalkbraunerde und an je zwei ein Braunerde-Pseudogley und ein Fluvisol. Bei der Auswahl der Probeflächen pro Standort wurde darauf geachtet, dass sich der Boden der drei Kulturen Buntbrache, Getreide und Naturwiese möglichst nicht unterschied. Dazu waren vorgängig Bodentyp, Humusgehalt, Skelettgehalt, Körnung, Gründigkeit und pH bestimmt worden.

Die Pflanzenbestände der Buntbrachen waren sehr unterschiedlich: Im etwa 35 m² umfassenden Bereich, wo die Entnahme der Bodenproben für die Untersuchung stattfand, wurden elf bis 40 Pflanzenarten registriert. Der Anteil der unbewachsenen Bodenoberfläche betrug 0 bis 20 % und die Bedeckung durch Gräser umfasste zwischen rund ein

und 80 % der Fläche. Die Naturwiesen waren mit einer Ausnahme alle über zehn Jahre alt. Die meisten wurden mit zwei oder drei Schnitten jährlich wenig intensiv genutzt, und nur vereinzelte wurde gedüngt oder beweidet. Im Bereich der Bodenprobe-Entnahme, auf etwa 35 m², wurden zwischen neun und 36 Pflanzenarten registriert, der unbewachsene Boden umfasste 0 bis 15 % der Fläche und der mit Gräsern bewachsene Anteil betrug zwischen rund 20 und 100 %.

Beurteilung des Bodengefüges

Die Bodenproben wurden mit einem Drainagespaten zwischen Ende April und Anfang Juni 2005 bei mässig feuchtem Boden entnommen. Innerhalb jeder Fläche wurde an drei zufällig gewählten Stellen eine Spatengrube geöffnet und je eine Bodenschicht von 0 bis 12 cm (Oberboden) und von 25 bis 35 cm (Unterboden) entnommen. Bei sehr steinigem Boden war das Einstechen erschwert, wodurch die Tiefe der unteren Schicht nur bis 30 cm reichte. Zur Vermeidung mechanischer Belastungen wurden die Boden-

Abb. 3. Kolonien von *M. anisopliae* aus der Bodenprobe einer Naturwiese in Wil. (Foto: Rita Iseli, Agroscope FAL Reckenholz)



proben in Kisten in den Arbeitsraum transportiert, wo die Bestimmung nach Nievergelt *et al.* (2002) stattfand. Eine standardisierte, semiquantitative Beschreibung des Bodengefüges wird dabei erreicht durch:

- das Bestimmen der Aggregat-Grössenverteilung mittels Fraktionieren in Grössenklassen (Abb. 2),
- das Erfassen aller Aggregat-typen und ihrer Gewichtsanteile in den Fraktionen,
- das Beurteilen des mechanischen Zusammenhaltes zwischen den Aggregaten mittels Abwurfstest und der Druckfestigkeit der Aggregate mittels Pressen zwischen zwei Fingern.

Diese Parameter werden miteinander verrechnet, woraus eine Bewertungszahl resultiert. Diese ist umso höher, je besser die Qualität des Bodengefüges ist. Für Böden im Landwirtschaftsland liegt der Wertebereich nor-

malerweise zwischen vier und zwölf. Aus den Gewichtsanteilen der einzelnen Fraktionen wurde weiter der gewichtete mittlere Aggregatdurchmesser bestimmt (Nievergelt *et al.* 2002).

Nachweis von *Metarhizium anisopliae*

Die Entnahme der Bodenproben für die Isolation des Bodenpilzes nach Fornallaz (1992) erfolgte zwischen Ende April und Anfang Juni 2005. Auf jeder Fläche wurden mit einem zylindrischen Probenstecher mit 5,5 cm Innendurchmesser zehn Bodenproben entnommen, die je aus zwei Einstichen bestanden. Für die Analyse wurde der Bereich von 5 bis 15 cm Tiefe verwendet. Bis zur weiteren Verarbeitung wurden die Proben bei 4 °C gelagert. Pro Probe wurden je 20 g Erde in einen 200 ml Erlenmeyerkolben abgewogen und in 100 ml mit 1,8 g/l Natriumpyrophosphat versetztem Leitungswasser mindestens drei Stunden lang geschüttelt. Nach 15 s Sedimentation wurden 0,1 ml der Sus-

pension auf einem Selektivmedium nach Strasser *et al.* (1996) gleichmässig ausgestrichen. Es wurden drei Wiederholungen pro Probe angesetzt. Nach zehn Tagen Inkubationszeit bei 22 °C wurden die Kolonien von *M. anisopliae* ausgezählt (Abb. 3), der Durchschnitt der drei Wiederholungen bestimmt und auf die Anzahl Kolonien bildende Einheiten (colony forming units, CFU) in einem Gramm Erde hochgerechnet.

Statistische Auswertungen

Die Auswertung der Bodengefügedaten erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalyse. Pro Fläche wurde der Mittelwert aus den drei Proben verwendet. Falls die Daten nicht normalverteilt waren, wurden sie logarithmisch transformiert. Bei den Bodenpilzdaten wurde der Median der zehn Proben pro Fläche gebildet und damit ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Für alle Auswertungen wurde das Programm Statistica 6 benutzt.

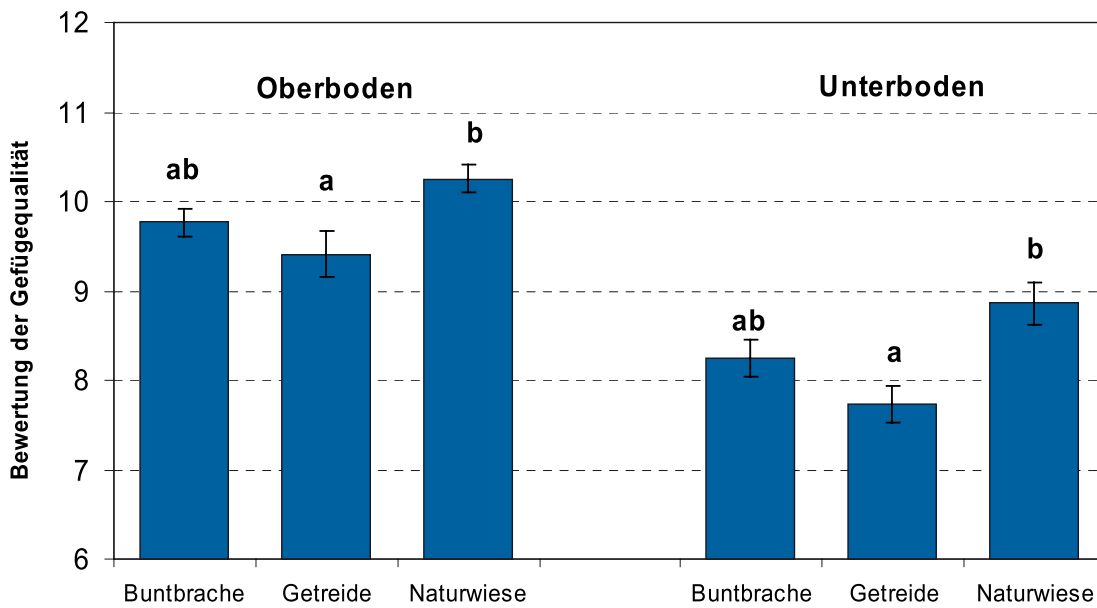


Abb. 4. Bewertung des Bodengefüges nach Nievergelt et al. (2002) von Oberboden (0 bis 12 cm) und Unterboden (25 bis 35 cm) in den Kulturen Buntbrache, Getreide und Naturwiese (N = 20; Mittelwerte und Standardfehler). Ober- und Unterboden wurden separat ausgewertet ($p_{\text{Oberboden}} = 0,011$; $p_{\text{Unterboden}} = 0,002$). Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikant verschiedene Werte (Tukey post-hoc Test, $p < 0,05$).

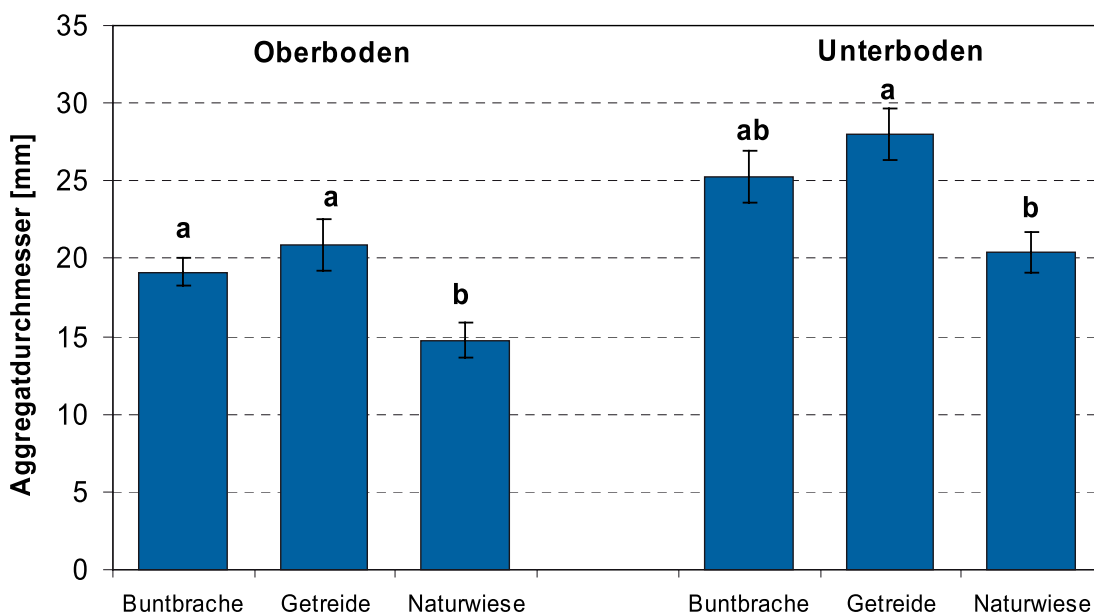


Abb. 5. Mittlerer Aggregatdurchmesser des Oberbodens (0 bis 12 cm) und Unterbodens (25 bis 35 cm) in den Kulturen Buntbrache, Getreide und Naturwiese (N = 20; Mittelwerte und Standardfehler). Ober- und Unterboden wurden separat ausgewertet ($p_{\text{Oberboden}} < 0,001$; $p_{\text{Unterboden}} = 0,002$). Unterschiedliche Buchstaben be-

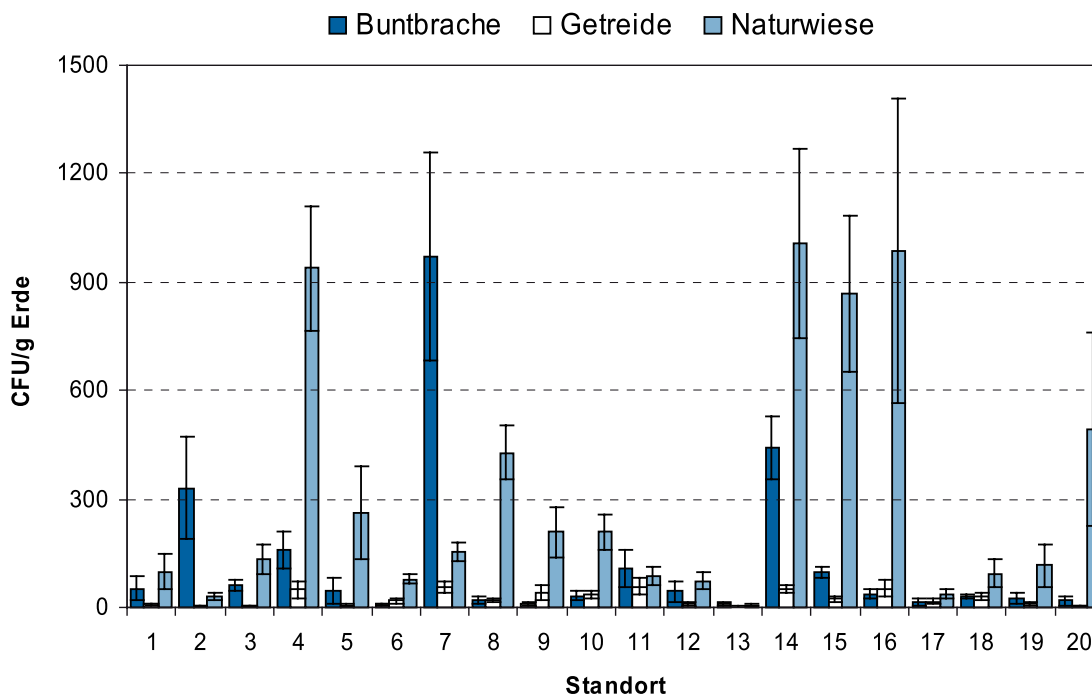
Verbessertes Bodengefüge unter Buntbrachen

Insgesamt wies das Bodengefüge eine gute Qualität auf (Abb. 4): Falls der Wert des Oberbodens über neun und derjenige des Unterbodens über sieben liegt, ist ein normales Wachstum von Kulturpflanzen zu erwarten, wenn nicht andere Wachstumsfaktoren einschränkend wirken. Die Qualität des Bodengefüges im Oberboden war insgesamt höher als diejenige im Unterboden (Abb. 4).

Für dieses Ergebnis sind bei natürlich entstandenen Böden normalerweise der höhere Humusgehalt und eine grössere biologische Aktivität im Oberboden verantwortlich (Kay und Angers 1999). Sowohl im Ober- als auch im Unterboden war die Qualität des Bodengefüges in den Naturwiesen signifikant höher als in den Getreideflächen. Gründe dafür mögen die ausbleibende Bodenbearbeitung, der ständige Pflanzenbewuchs, eine biologisch hohe

Aktivität und ein höherer Humusgehalt sein. Die Werte der Buntbrachen lagen zwischen den beiden anderen Kulturen (Abb. 4). Dies deutet daraufhin, dass sich das Bodengefüge unter Buntbrachen im Laufe ihrer Anlagedauer verbessert. Dass die Werte der schon länger bestehenden Naturwiesen auch nach sechs Jahren nicht erreicht wurden, zeigt, dass eine Verbesserung des Bodengefüges auf noch länger wirkenden Prozessen beruht.

Abb. 6. Dichte von *Metarhizium anisopliae* in Kolonien bildende Einheiten (CFU) pro Gramm Erde in den drei Kulturen Buntbrache, Getreide und Naturwiese an den 20 beprobten Standorten. Mittelwerte und Standardfehler aus zehn Bodenproben.



Die mittleren Aggregatsdurchmesser unterschieden sich sowohl im Ober- als auch im Unterboden signifikant zwischen den drei Kulturen (Abb. 5). Die kleinsten Werte wiesen die Naturwiesen auf. Die Werte der Buntbrachen waren im Oberboden vergleichbar mit denen der Getreideflächen; im Unterboden lagen sie jedoch zwischen denjenigen der Naturwiesen und der Getreideflächen (Abb. 5). Kleine Aggregate wirken sich positiv auf die Qualität des Bodengefüges aus (Nievergelt *et al.* 2002). Sie bieten den verschiedenen Stoffwechselprozessen im Boden eine grössere spezi-

fische Austauschoberfläche an als grosse Aggregate.

Grösste Pilzdichte in Naturwiesen

M. anisopliae wurde zwar nicht in jeder einzelnen Bodenprobe, jedoch in allen untersuchten Flächen nachgewiesen. Die Häufigkeit und die Dichte des Pilzes unterschieden sich zwischen den drei Kulturen, aber auch innerhalb einer Kultur variierten sie. Die meisten positiven Proben traten in den Naturwiesen auf, die wenigsten in den Getreideflächen (Tab. 1). Dass *M. anisopliae* in Wiesenböden häufiger vorkommt als in Acker-

böden, wird auch von Keller *et al.* (2003) und Rodrigues *et al.* (2005) bestätigt. Auch die Pilzdichte war in den Naturwiesen am grössten (Tab. 1). Verglichen mit den beiden anderen Kulturen wurden hier die meisten Standorte mit hohen Werten gefunden (Abb. 6). Die Getreideflächen wiesen demgegenüber im Allgemeinen geringe Werte auf. Für die geringeren Pilzdichten in ackerbaulich genutzten Böden werden die regelmässige Bodenbearbeitung und der Einsatz von Pestiziden verantwortlich gemacht (Keller *et al.* 2003; Rodrigues *et al.* 2005). Dadurch werden Wirtsinsekten des Pilzes oder der Pilz direkt beeinträchtigt.

Die Buntbrachen unterschieden sich zwar hinsichtlich Pilzdichte nicht signifikant von den Getreideflächen (Tab. 1); tendenziell zeigten sie jedoch höhere Werte. Insbesondere war auch die grösste in der Buntbrache nachgewiesene Pilzdichte deutlich höher als der höchste im Getreide gemessene Wert (Abb. 6). Durch das Ausbleiben von Bodenbearbeitungen und den Verzicht auf Dünger und Pestizide

Tab 1. Häufigkeit (% positive Bodenproben, % pBp) und Dichte (Kolonien bildende Einheiten pro Gramm Erde, CFU/g) von *Metarhizium anisopliae*. N = 20, 10 Bodenproben pro Fläche. Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikant verschiedene Werte (Tukey post-hoc Test, p < 0,05).

Kultur	% pBp	<i>M. anisopliae</i> (CFU/g)		
		Median	Mittelwert	Standardabweichung
Buntbrache	64 ± 5	42 ^b	126 ^b	228
Getreide	54 ± 7	20 ^b	25 ^b	20
Naturwiese	86 ± 4	144 ^a	316 ^a	348

Median: pKultur < 0,001;
Mittelwert: pKultur < 0,001

könnte *M. anisopliae* demnach in alten Buntbrachen teils gefördert werden. Bis sich die Pilzdichte erhöht, dauert es offenbar jedoch – wie bei der Verbesserung des Bodengefüges – mehr als fünf Jahre. Buntbrachen stellen demnach bezüglich Zustand des Bodengefüges und Bodenzugkraft-Vorkommen eine Übergangsform zwischen Acker- und Wieslandböden dar und können positive Effekte für die Bodenfruchtbarkeit haben.

Literatur

- Beste A., Hampl U. & Kussel N., 2001. Bodenschutz in der Landwirtschaft. Einfache Bodenbeurteilung für Praxis, Beratung und Forschung. Verlag Baerens und Fuss, Schwerin. 111 S.
- BLW, 2004. Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV) vom 7. Dezember 1998 (Änderungen bis 1. Januar 2004 berücksichtigt). Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern, 63 S.
- Fornallaz C., 1992. Demökologische Grundlagen und praktische Durchführung der mikrobiellen Bekämpfung des Maikäfers *Melolontha melolontha* L. mit dem Pilz *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch. Doktorarbeit No. 9736, ETH Zürich, 127 S.
- Kay B.D. & Angers D.A., 1999. Soil structure. In: The handbook of soil science (Ed. M. Sumner). CRC Press, Boca Raton, FL, 229-276.
- Keller S., Kessler P. & Schweizer C., 2003. Distribution of insect pathogenic soil fungi in Switzerland with special reference to *Beauveria brongniartii* and *Metarhizium anisopliae*. *BioControl* **48** (3), 307-319.
- Mäder P., Fließbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P. & Niggli U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* **296** (5573), 1694-1697.
- Nievergelt J., Petrasek M. & Weisskopf P., 2002. Bodengefüge – Ansprechen und Beurteilen mit visuellen Mitteln. Schriftenreihe der FAL, Zürich. 93 S.
- Rodrigues S., Peveling R., Nagel P. & Keller S., 2005. The natural distribution of the entomopathogenic soil fungus *Metarhizium anisopliae* in different regions and habitat types in Switzerland. In: Insect pathogens and insect parasitic nematodes «Melolontha» (Ed. S. Keller). *IOBC wprs Bulletin* **28** (2), 185-188.
- Schweizerische Eidgenossenschaft, 1983. Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). Systematische Sammlung des Bundesrechts, SR-Nr. 814.01.
- Strasser H., Forrer A. & Schinner F., 1996. Development of media for the selective isolation of *Beauveria brongniartii*. In: Proceedings of the 3rd international workshop on microbial control of soil dwelling pests (Eds. T.A. Jackson & T.R. Glare). AgResearch Lincoln, New Zealand, 125-130.
- Weisskopf P., Zihlmann U., Chervet A., Sturny W.G. & Müller M., 2005. Entwicklung des Bodengefüges bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* **12** (8), 362-367.

RÉSUMÉ

Le sol bénéficie-t-il des jachères florales?

Les jachères florales favorisent de nombreuses espèces de plantes et d'animaux. Jusqu'à présent, les bénéfices potentiels de cet élément de la compensation écologique pour le sol n'avaient pas été examinés. C'est pourquoi dans les cantons d'Argovie et de Bâle Campagne, deux aspects du sol ont été étudiés: des jachères florales de cinq ou de six ans ont été comparées à des champs de céréales et des prairies permanentes en regard de la qualité de la structure du sol et de l'abondance de *Metarhizium anisopliae*, un champignon entomopathogène du sol.

Dans les prairies permanentes, la qualité du sol est significativement plus élevée que dans les champs de céréales, tant dans la couche supérieure qu'en profondeur. La valeur des jachères florales se trouve entre les deux. *M. anisopliae* a été détecté dans toutes les surfaces. Les plus hautes fréquences et densités sont observées dans les prairies permanentes. Dans les jachères florales, la densité du champignon tend à être plus élevée que dans les champs de céréales. Ainsi, le sol peut bénéficier des jachères florales, mais l'amélioration n'est effective qu'après plusieurs années.

SUMMARY

Does the soil benefit from wildflower strips?

Several plant and animal species are promoted by wildflower strips. So far, potential benefits of this ecological compensation element to the soil have not yet been examined. Therefore, in the cantons Aargau and Basel-Land two soil aspects have been studied: five or six years old wildflower strips were compared to cereal fields and permanent meadows in regard to the quality of the soil structure and the abundance of the entomopathogenic soil fungus *Metarhizium anisopliae*.

In the permanent meadows both in the topsoil and the under layer the quality of the soil structure was better than in the cereal fields. The values of the wildflower strips were in between. *M. anisopliae* was detected in all surfaces. The highest frequencies and densities were found in the permanent meadows. In the wildflower strips the fungus density tended to be higher than in the cereal fields. Thus, the soil can benefit from wildflower strips, but it takes several years until improvement.

Key words: wildflower strip, cereal, permanent meadow, soil structure, *Metarhizium anisopliae*, evaluation