

Von Prof. Dr. Wilhelm FOISSNER
Universität Salzburg

1. Einleitung

In den letzten Jahren wird verstärkt der "ökologische" oder "biologische" Landbau propagiert, der weitgehend oder ganz auf rasch lösliche, synthetische Mineraldünger ("Kunstdünger"), Pestizide und Wachstumsregulatoren verzichtet. Durch sorgfältig aufbereitete natürliche Dünger (Mist, Jauche, Gülle, Steinmehl etc.) und durch schonende Bodenbearbeitung (keine schweren landwirtschaftlichen Maschinen, pflugloser Ackerbau etc.) sollen das Bodenleben aktiviert und/oder erhalten und die Ertragsfähigkeit der Böden langfristig gesichert werden. Von den Gegnern der "Biobauern" wird aber mit Recht darauf verwiesen, daß für diese Behauptungen nur dürftige wissenschaftliche Beweise vorliegen. Tatsächlich sucht man in vielen Büchern und Artikeln, die eine Förderung des Bodenlebens durch den ökologischen Landbau behaupten, vergeblich nach exakten, statistisch abgesicherten Daten, besonders für die Bodenfauna. Ein typisches Beispiel ist "Der ökologische Weinbau" von PREUSCHEN (1979).

Diese Lücke zu schließen, war das Ziel eines vom Fonds für die wissenschaftliche Forschung finanziell getragenen, vierjährigen Forschungsprojektes über die Bodenfauna von ökologisch und konventionell bewirtschafteten Acker- und Grünlandflächen in Österreich. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie werden im vorliegenden Beitrag kurz und auch für den gebildeten Laien verständlich dargestellt. Für den Vergleich mit den Resultaten anderer Arbeitsgruppen sowie für die Beschreibung der Untersuchungsflächen und der Untersuchungsmethoden, muß aus Platzgründen auf die zitierten Einzelarbeiten verwiesen werden. Die wichtigsten Hintergrunddaten sind in den Fußnoten der Tabellen angegeben.

Die statistische Auswertung erfolgte mit einer Varianzanalyse, wobei Unterschiede, die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von gleich oder kleiner als 10% abgesichert werden konnten, als "signifikant" eingestuft wurden.

Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen ökologischen Landbaumethoden gibt DIERCKS (1983). Wir haben die in Österreich weit verbreiteten Varianten "organisch-biologisch" und biodynamisch untersucht. Der organisch-biologische Landbau propagiert besonders die Förderung der Bodenmikrobiologie, einen pfluglosen Ackerbau und die häufige Anwendung eines Frischmistschleiers. Der biologisch-dynamische Landbau basiert nicht nur auf naturwissenschaftlichen sondern auch auf geisteswissenschaftlichen Erkenntnissen von R. STEINER. Kosmische Einflüsse, wie die Mondphasen, werden beim Anbau berücksichtigt. Die Düngung erfolgt unter Zusatz von Spezialpräparaten.

2. Untersuchungsflächen in Salzburg (Tabelle 1)

Diese fünf Vergleichspaare (vier Äcker und sechs Wiesen von 6 Bauern aus der Umgebung der Stadt Salzburg) wurden im Verlaufe von zwei Jahren besonders gründlich untersucht. Eine Darstellung der Standorte, der Bewirtschaftung und der Ergebnisse des ersten Untersuchungsjahres geben FOISSNER et al. (1987). Die ökologisch bewirtschafteten Flächen wurden vor 10 Jahren von konventionell auf "biologisch" umgestellt.

Die Ergebnisse des zweiten Untersuchungsjahres decken sich weitgehend mit jenen des ersten. Es konnten sowohl bei den Äckern als auch bei den Wiesen nur geringe, statistisch oft nicht abzusichernde Unterschiede gefunden werden. Alle statistisch signifikanten Differenzen weisen jedoch die ökologisch bewirtschafteten Flächen als stärker belebt (besiedelt) aus. Es ist besonders hervorzuheben, daß sich bei den Regenwürmern keine Unterschiede finden, während die meisten Unterschiede bei den Einzellern und Fadenwürmern signifikant sind. Dies zeigt, daß es bei der Untersuchung eines so komplexen Systems wie es der Boden ist, nicht ausreicht, nur die Regenwürmer zu berücksichtigen, wie das leider häufig der Fall ist. In der Artenzusammensetzung und der Artenzahl zeigen sich weder bei den Einzellern noch bei den Regenwürmern deutliche Unterschiede zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Parzellen (FOISSNER et al. 1987, SEEWALD 1987).

Tabelle 1: Vergleichsuntersuchungen an ökologisch und konventionell bewirtschafteten Acker (A)- und Grünlandflächen (G) im Raum Salzburg ¹⁾

Merkmale	Biotop	org.-biol. bewirt.	konv. bewirt.	Statistik
EINZELLER (Schalen-Amöben; Testaceen)				
Anzahl/g TM	A	868	661	S
	G	1264	1136	NS
Gewicht in mg/kg TM	A	35	22	S
	G	43	34	S
Artenzahl	A	30	29	S
	G	30	30	S
FADENWÜRMER (Nematoden), Anzahl/g TM	A	60	51	NS
	G	153	126	S
REGENWÜRMER (Lumbriciden)				
Anzahl/m ²	A	67	77	NS
	G	184	207	NS
Gewicht in g/m ²	A	51	28	NS
	G	139	178	NS
MIKROFLORA (Bakterien und Pilze)				
CO ₂ -Ausstoß in mg/g TM	A	54	59	NS
	G	104	102	NS
Katalase in ml O ₂ /g TM	A	1.8	1.8	NS
	G	4.2	3.7	S
ABIOTISCHE FAKTOREN				
Organische Substanz („Humus“) in %	A	4.6	4.5	NS
	G	8.0	7.3	NS
Eindringwiderstand in kg	A	0.7	1.1	S
	G	1.4	1.6	NS

1) Die Werte sind das arithmetische Mittel aus der Untersuchung von zwei ökologisch und zwei konventionell bewirtschafteten Weizenfeldern sowie drei ökologisch und drei konventionell bewirtschafteten Mähwiesen. In diesen 10 Probeflächen wurden im Verlaufe von zwei Jahren je achtmal die Einzeller, die Fadenwürmer und die Mikroflora untersucht. Der Stichprobenumfang für die Statistik beträgt daher 32 bzw. 48. Für die Regenwürmer ist der Stichprobenumfang 6 bzw. 9, für den Humusgehalt 10 bzw. 15 und für den Eindringwiderstand 76 bzw. 114.

TM = Trockenmasse („Trockengewicht“) des Bodens; NS = statistisch nicht signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit größer als 10%; S = statistisch signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit gleich oder kleiner als 10%.

Von verschiedenen mikrobiologischen Parametern (CO_2 -Ausstoß, Katalase, Urease, Saccharase) zeigt nur die Katalase, ein Ektoenzym von Bodenbakterien (Bakterien "fressen" durch Außenverdauung), in den ökologisch bewirtschafteten Flächen eine etwas höhere Aktivität.

Für das Bodenleben entscheidende Umweltfaktoren sind die organische Substanz ("Humus"), die direkt oder über die Zersetzerkette als Nahrung dient, und die Dichte des Bodens, die über Größe und Menge der Bodenporen den verfügbaren Lebensraum bestimmt. Bei den Salzburger Untersuchungsflächen sind die Unterschiede in der Menge der organischen Substanz und im Eindringwiderstand (als Maß für die Bodenverdichtung) gering. Nimmt man jedoch alle Werte (Felder und Wiesen) zusammen, so sind sie statistisch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen 1% und 10% abzusichern.

In Summe sind die Unterschiede bei den Salzburger Untersuchungsflächen gering. Wir führen dies darauf zurück, daß durch die gemischte Landwirtschaft (Ackerbau und Viehzucht) in diesem Agrarraum und das atlantische Klima (reichliche Wasserversorgung) für das Bodenleben günstige Voraussetzungen herrschen. Die "Konventionellen" düngen ebenfalls vorwiegend mit organischen Düngern (Mist, Jauche, Gülle; Kunstdünger werden nur begrenzt eingesetzt), die freilich nicht so sorgfältig aufbereitet werden wie bei den "Ökobauern". Dies und die schonendere Bodenbearbeitung mag die festgestellten geringen Unterschiede bewirken.

3. Untersuchungsflächen in der Steiermark (Tabelle 2)

Die Standorte im Raum Salzburg sind keine Experimentalflächen sondern spiegeln die Situation der Praxis wider. Wir hatten daher den Verdacht, daß davon die "Unschärfe" der Resultate verursacht worden sein könnte. Dies hat sich jedoch an Grünlandflächen, die BUCHGRABER (1984) unter ähnlichen klimatischen und agrarischen Bedingungen angelegt hat, nicht bestätigt. Diese Experimentalflächen sind in Form einer randomisierten Blockanlage gestaltet, was eine besonders genaue statistische Absicherung der Resultate erlaubt.

Die Experimentalflächen standen zur Zeit der bodenzoologischen Analysen im neunten Hauptversuchsjahr. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse findet sich bei FOISSNER et al. (1989). Wir konnten weder bei den Einzellern noch bei den Faden- und Regenwürmern statistisch absicher-

Tabelle 2: Vergleichsuntersuchungen an ökologisch und konventionell bewirtschafteten Grünlandparzellen in der Steiermark¹⁾

Merkmale	org.-biol. bewirt. ²⁾	biodyn. bewirt. ³⁾	könv. bewirt. ⁴⁾	Statistik
EINZELLER (Schalen-Amöben; Testaceen)				
Anzahl/g TM	351	367	342	NS
Gewicht in mg/kg TM	11	12	11	NS
Artenzahl	23	24	23	NS
EINZELLER (Wimpertiere; Ciliaten)				
Anzahl/g TM	757	1023	1212	NS
Gewicht in mg/kg TM	19	14	38	NS
Artenzahl	40	35	31	NS
FADENWÜRMER (Nematoden), Anzahl/g TM	173	170	158	NS
REGENWÜRMER (Lumbriciden)				
Anzahl/m ²	288	264	323	NS
Gewicht in g/m ²	76	108	102	NS
JAHRESERNT (TM) in dt/ha	82	78	79	NS
LEGUMINOSEN (Flächenprozentanteile)	42	56	65	NS

1) Bei den Parzellen handelt es sich um ein randomisiertes Blockexperiment. Für die bodenzoologischen Untersuchungen wurden 6 Wiederholungen ausgewertet. Die Jahresernte und die Leguminosen sind der Durchschnitt aus den Jahren 1979-1986. Alle Werte sind arithmetische Mittel.

2) Frischmist und Jauche, zubereitet nach dem organisch-biologischen Verfahren.

3) Mistkompost und Jauche, zubereitet nach dem biodynamischen Verfahren.

4) Mineralische PK-Düngung.

TM = Trockenmasse („Trockengewicht“) des Bodens bzw. der Jahresernte;
NS = statistisch nicht signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit größer als 10%.

bare Unterschiede zwischen den konventionellen und ökologischen Varianten feststellen. Auch der Ertrag, die Futterqualität und die Güte des Pflanzenbestandes waren sich bei allen Varianten sehr ähnlich. Die Jahrernte war bei der organisch-biologischen Variante signifikant höher als bei der biodynamischen, die vor allem im Stallmist + Jauche-System Mindererträge verzeichnete. Der Arbeits- und Energieaufwand war bei der organisch-biologischen und vor allem bei der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise wesentlich höher als bei der konventionellen Bewirtschaftung.

4. Untersuchungsflächen in Niederösterreich (Tabellen 3, 4)

In Salzburg und in der Steiermark wurden keine gravierenden bodenbiologischen Unterschiede zwischen konventionell und ökologisch bewirtschafteten Acker- und Grünlandflächen gefunden. Dies ist vermutlich auf die günstige Klimasituation und die reichliche organische Düngung auch der "Konventionellen" zurückzuführen (vgl. oben). Weitaus stärkere und aus bodenzoologischer Sicht sehr bedenkliche Unterschiede fanden wir dagegen in Weinbergen und Äckern der pannonischen Klimazone, wo Wasser für den Pflanzenbau und für das Bodenleben ein Minimumfaktor ist und kaum Viehwirtschaft betrieben wird, weshalb fast ausschließlich synthetische Mineraldünger verwendet werden. Die Gehalte an organischer Substanz sind daher gering.

Weinberge (Tabelle 3): Die Experimentalflächen befinden sich in Mailberg, etwa 5 km von der tschechoslowakischen Grenze entfernt. Sie standen zur Zeit der bodenzoologischen Analysen im neunten Versuchsjahr. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse findet sich bei LÜFTENEGGER & FOISSNER (1989). Bei allen untersuchten Tiergruppen zeigt sich ein starker, meist auch statistisch absicherbarer Trend einer reicheren Belegung der ökologisch bewirtschafteten Parzellen. Die Regenwürmer fehlen in der konventionell bewirtschafteten Variante fast ganz. Die organisch-biologische Wirtschaftsweise fördert das Bodenleben etwas stärker als die biodynamische. Bei einem Weinberg in der Nähe von Krems, der nicht als Experimentalfläche angelegt ist, finden sich ähnlich starke Unterschiede.

Äcker (Tabelle 4): Diese biodynamisch bewirtschafteten Äcker liegen im Marchfeld bei Wien. Es sind keine Experimentalflächen, sondern so wie jene in Salzburg von Bauern intensiv genutzte Getreide- und

Tabelle 3: Vergleichsuntersuchungen an ökologisch und konventionell bewirtschafteten Weinbergparzellen in Niederösterreich ¹⁾

Merkmale	org.-biol. bewirt.	biodyn. bewirt.	konv. bewirt.	Statistik ²⁾
EINZELLER (Schalen-Amöben; Testaceen)				
Anzahl/g TM	347	239	156	S/NS
Gewicht in mg/kg TM	24	14	7	S/S
Artenzahl	14	13	13	S/NS
FADENWÜRMER (Nematoden), Anzahl/g TM	152	213	46	NS/S
REGENWÜRMER (Lumbriciden)				
Anzahl/m ²	91	36	4	S/S
Gewicht in g/m ²	38	16	4	S/NS

1) Bei diesen Großparzellen gibt es keine Wiederholungen. Für die Einzeller und Fadenwürmer wurden daher vier Parallelproben von verschiedenen Bereichen der betreffenden Großparzellen ausgewertet. Die Daten für die Regenwürmer basieren auf je acht Parallelproben mit je 0.25 m². Alle Werte sind arithmetische Mittel.

2) Der linke Wert vergleicht org.-biol. und konv., der rechte biodyn. und konv.

TM = Trockenmasse („Trockengewicht“) des Bodens, NS = statistisch nicht signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit größer als 10%.

S = statistisch signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit gleich oder kleiner als 10%.

Tabelle 4: Vergleichsuntersuchungen an einem ökologisch und konventionell bewirtschafteten Weizenfeld in Niederösterreich ¹⁾

Merkmale	biodyn. bewirt.	konv. bewirt.	Statistik
EINZELLER (Schalen-Amöben; Testaceen)			
Anzahl/g TM	76	23	NS
Gewicht in mg/kg TM	1.9	0.7	NS
Artenzahl	6	6	NS
FADENWÜRMER (Nematoden), Anzahl/g TM	91	24	S
MIKROFLORA (Bakterien und Pilze)			
CO ₂ -Ausstoß in mg/g TM	0.3	0.2	S
Katalase in ml O ₂ /g TM	1.2	0.6	S
Urease in mg N/g TM	0.08	0.07	S
ORGANISCHE SUBSTANZ („Humus“) in %	2.2	1.8	S

¹⁾ Die Werte sind die arithmetischen Mittel von vier Probenahmen im Verlaufe eines Jahres. Der biodynamisch bewirtschaftete Acker erhält per annum 10 Tonnen/ha Kompost, vermischt mit Steinmehl. Der konventionell bewirtschaftete Acker wird per annum mit 350 kg/ha NPK-Dünger gedüngt.

TM = Trockenmasse („Trockengewicht“) des Bodens; NS = statistisch nicht signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit größer als 10%;

S = statistisch signifikant verschieden, Irrtumswahrscheinlichkeit gleich oder kleiner als 10%.

Gemüseäcker. Von den zwei Vergleichspaaren wird hier jenes vorgestellt, bei dem sich die deutlicheren Unterschiede zeigten. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse findet sich bei FOISSNER (1987). Bei allen untersuchten Parametern ist ein deutlicher, meist auch statistisch abzusichernder Trend festzustellen, daß die ökologisch bewirtschafteten Äcker stärker belebt sind als die konventionellen, in denen nur mehr wenige Tiere vorkommen. Auch in der Mikroflora und im Gehalt an organischer Substanz zeigen sich ähnlich starke Unterschiede.

Danksagung

Die Arbeit wurde von Herrn Em. Univ.-Prof. DDR. Herbert FRANZ (Wien) angeregt und vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekte Nr. 5226 und 5889) finanziell unterstützt. Herrn Univ.-Prof. Dr. Hans ADAM verdanke ich die gute Infrastruktur des Instituts und vielfältige Förderung. Herzlich gedankt sei auch allen Mitarbeitern (Univ.-Doz. Dr. Thomas PEER, Dr. Karl BUCHGRABER, Dr. Helmut BERGER, Dr. Gabriele LÜFTENEGGER) und den Bauern, die die Untersuchungsflächen zur Verfügung stellten.

Zusammenfassung und Folgerungen

In den Jahren 1984 bis 1988 wurden in Salzburg, der Steiermark und in Niederösterreich bodenbiologische Untersuchungen an ökologisch und konventionell bewirtschafteten Acker- und Grünlandflächen durchgeführt. Insgesamt kamen 13 Vergleichspaare zur Auswertung. Die wichtigsten Resultate dieser Studie, die vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziell getragen und daher von wirtschaftlichen und weltanschaulichen Aspekten unbeeinflußt erarbeitet werden konnte, werden im vorliegenden Beitrag kurz und auch für den gebildeten Laien verständlich dargestellt.

- 1) Viele der untersuchten bodenzoologischen Merkmale sind in den ökologisch und konventionell bewirtschafteten Acker- und Grünlandflächen statistisch nicht signifikant verschieden.
- 2) Auffallende Unterschiede im Artenspektrum und der Dominanzstruktur der Einzeller (Protozoen), eine wegen ihrer kurzen Generationszeit

und ihres hohen Beitrages zum Energieumsatz besonders wichtige Indikatorgruppe, sind nicht nachweisbar.

- 3) Alle statistisch mit weniger als 10% Irrtumswahrscheinlichkeit ab-sicherbaren Unterschiede weisen ausnahmslos in Richtung einer höheren biologischen Aktivität der ökologisch bewirtschafteten Parzellen. Die zum Teil parallel mitgeführten bodenkundlichen Untersuchungen deuten darauf hin, daß dafür der höhere Humusgehalt und der etwas lockerere Boden verantwortlich sind. Die organische Substanz und die Verdichtung des Bodens sind in den ökologisch bewirtschafteten Flächen signifikant höher bzw. geringer als in den konventionell bearbeiteten.
- 4) In Ackerflächen aus semiariden Gebieten ohne Viehwirtschaft beeinträchtigt die konventionelle Landwirtschaft die Bodentiere stärker als in der atlantischen Klimazone mit gemischter Wirtschaft.
- 5) "Die konventionelle Landwirtschaft zerstört das Bodenleben", "Alles ist in Ordnung" -, beide Schlagwörter finden durch die bisher vorliegenden Daten keine Stütze. Die nachweisbare Beeinträchtigung sollte aber ernst genommen werden und Anstoß zu neuen Wegen in der Landwirtschaft und zu verstärkter bodenbiologischer Forschung sein.

Summary and Conclusions

During the years 1984 to 1988 the soil fauna of ecofarmed and conventionally farmed fields and meadows was investigated in various regions of Austria (Salzburg, Styria, Lower Austria). All together, 13 site pairs were evaluated. The main results of this approach, which was financially supported by the Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung and, thus, could be done without any economical and ideological constraints, are shortly and within everybody's grasp reviewed in this contribution.

- 1) Many of the investigated soil zoological parameters are statistically not different in ecofarmed and conventionally farmed fields and meadows.
- 2) There are no striking differences in species composition and dominance structure of the protozoa, which are an important group of indicator organisms because of their short generation time and their high contribution to the energy cycle.

- 3) All results which can be guaranteed with an error probability equal or smaller than 10% invariably show a higher biological activity of the ecofarmed parcels. The soil physical and chemical investigations, which accompanied the zoological studies at some sites, indicate that this is caused by the higher humus content and the lower soil compaction. The organic matter content is significantly higher in the ecofarmed plots, whereas soil compaction is stronger in the conventionally farmed parcels.
- 4) Conventional agriculture affects soil animals stronger in semi-aride regions without stock-farming than in atlantic regions with mixed husbandry.
- 5) "Conventional agriculture destroys the life in the soil", "All is o.k." -, both phrases are not supported by the available data. However, the discernible detrimental effects of conventional farming on the soil animals must be seriously considered and should stimulate the development of soft agricultural technologies and intensified soil biological research.

Literatur

- DIERCKS, R. (1983): Alternativen im Landbau. Stuttgart (Ulmer): 379 pp.
- FOISSNER, W. (1987): The micro-edaphon in ecofarmed and conventionally farmed dryland cornfields near Vienna (Austria). Biol. Fertil. Soils 3: 45 - 49.
- FOISSNER, W., BUCHGRABER, K. und BERGER, H. (1989: Bodenzoologische und produktionsbiologische Untersuchungen an ökologisch und konventionell bewirtschafteten Grünparzellen in der Steiermark: Eine Feldstudie mit randomisierten Blöcken. Mitt. Österr. Bodenk. Ges. (im Druck).
- FOISSNER, W., FRANZ, H. und ADAM, H. (1987): Untersuchungen über das Bodenleben in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Acker- und Grünlandböden im Raum Salzburg. Verh. Ges. Ökol. 15: 333-339.
- LÜFTENEGGER, G. und FOISSNER, W. (1989): Bodenzoologische Untersuchungen an ökologisch und konventionell bewirtschafteten Weinbergen. Zool. Anz. (im Druck).
- PREUSCHEN, G. (1980): Der ökologische Weinbau. Karlsruhe (C.F. Müller): 168 pp.
- SEEWALD, F. (1987): Regenwürmer als Indikatoren für Bodenqualität? Jb. Haus der Natur, Salzburg 10: 53-55.