

Prüfung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die strukturelle Diversität in Böden

Testing effects of pesticides on the structural diversity in soils

Dieter Felgentreu*, Frank Riepert & Barbara Baier

Julius Kühn-Institut, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Königin-Luise-Str. 19, D-14195 Berlin

* Korrespondierender Autor, dieter.felgentreu@jki.bund.de, +49(0)30 83042365

DOI: 10.5073/jka.2012.436.013

Zusammenfassung

Ab- und Umbauprozesse im Boden sind ein Ergebnis der Aktivität von Bodenorganismen und chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens. Etwa 80 % des stofflichen Umsatzes im Boden leisten Bodenfauna und –mikroflora. Bei Einsatz von Pflanzenschutzmitteln oder Eintrag anderer anthropogener Stoffe kann es zu kurzfristigen oder/und nachhaltig wirkenden Beeinflussungen der Aktivität der Bodenorganismen kommen. Durch Anwendung von Verfahren der biologischen Bodencharakterisierung können diese Auswirkungen auf das Bodenleben beschrieben werden. Am Beispiel der Auswirkungen von Kupfereinträgen im Weinbau durch Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung von pilzlichen Schaderregern werden die Aussagekraft von Laboruntersuchungen und die Bewertungsstrategie für die ökotoxikologische Charakterisierung von Böden demonstriert.

Abstract

Mineralisation and transformation processes in soil are passing in co-operation of soil organisms and chemical and physical properties of the soil. About 80 % of the substantial transformation in soil is achieved by soil fauna and soil micro-flora. Application of pesticides or input of other anthropogenic substances may induce acute or long-term effects on the activity of soil organisms. Biological methods developed for testing soil quality are appropriate to characterize the effects to the soil ecosystem. The effects of copper loads in viticulture by application of copper containing pesticides for the control of fungal diseases is taken as an example to assess the significance of standardized laboratory tests being part of an assessment strategy for ecotoxicological characterization of soil quality.

Einleitung

Bodenorganismen spielen für die Bodenfruchtbarkeit und ihrer Nachhaltigkeit eine bedeutende Rolle. Ihre Leistungen umfassen die Mineralisation tierischer, pflanzlicher und mikrobieller Substanzen sowie den Um- und Abbau von Xenobiotika. Sie sind für die Mobilisierung und Immobilisierung von Nähr- und Spurenelementen, dem Aufbau der mikrobiellen Biomasse und des Humus mit verantwortlich. Dabei wird ihre Aktivität durch verschiedene standortbezogene Faktoren beeinflusst. Neben dem Klima, den physiko-chemischen Eigenschaften des Bodens und der auf der Fläche wachsenden Vegetation ist es vor allem die Art und Weise der Bewirtschaftung, die den größten Einfluss besitzt. Seit langem sind biologische Indikatoren bekannt, die eine Störung dieser Kreisläufe sehr empfindlich darstellen können. Es wurde eine sogenannte ökotoxikologische Testbatterie gebildet, die es erlaubt, eine Charakterisierung von Böden und Bodensubstraten vorzunehmen, die mit abiotischen Standortfaktoren und/oder mit Effekten von z. B. agrarrelevanten Stoffen verglichen werden können. Mit der DIN ISO 17616 wurde eine Bewertungsstrategie genormt (siehe Abbildung 1), die es erlaubt, eine ökotoxikologische Charakterisierung von Böden und Bodensubstraten vorzunehmen.

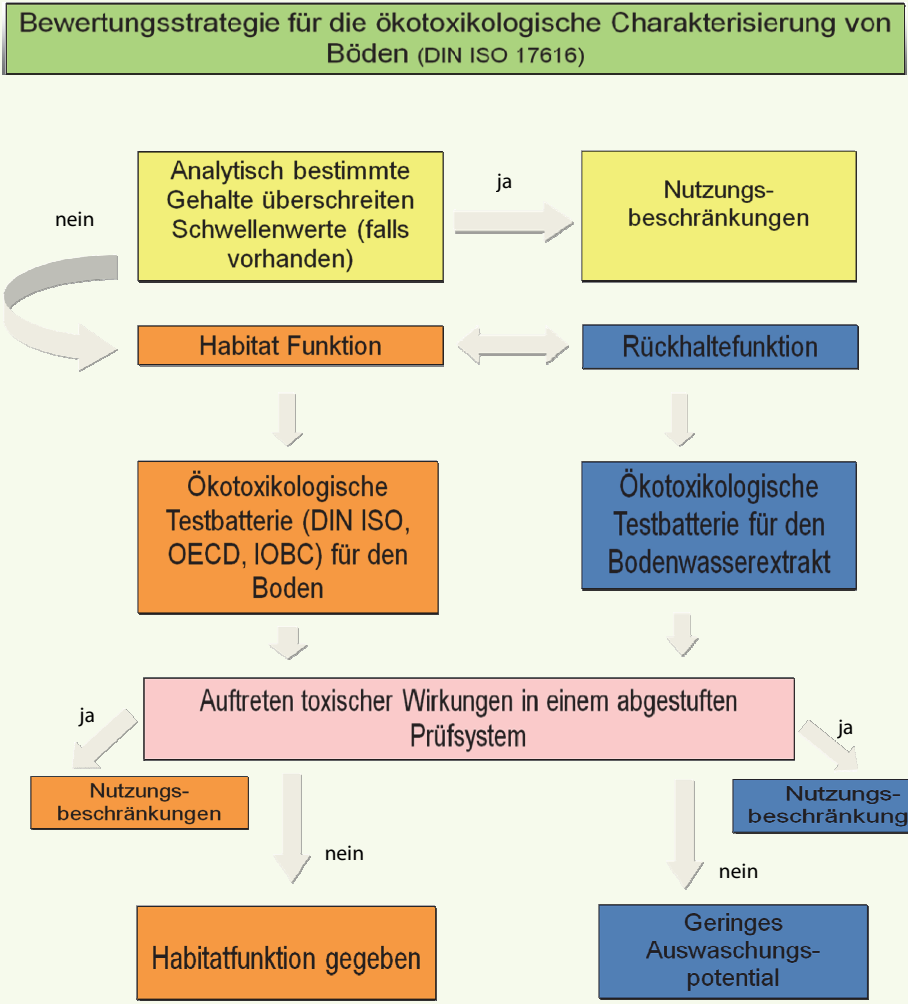


Abb. 1 Bewertungsstrategie für die ökotoxikologische Charakterisierung von Böden (DIN ISO 17616)

Fig. 1 Assessment strategy for the ecotoxicological characterization of soils (DIN ISO 17616)

Neben der Überschreitung von Schwellenwerten analytisch bestimmter Gehalte im Boden, die zu einer Nutzungseinschränkung führen können, werden vor allem das Auftreten toxischer Wirkungen auf die Habitatfunktion in einem mehrstufigem Prüfsystem untersucht. Hierzu liegt eine Reihe von validierten und genormten Methoden der OECD, IOBC, DIN ISO für den Bereich Boden vor. Im Ergebnis können stufenweise Nutzungsbeschränkungen bzw. Auflagen für die Anwendung erteilt werden.

Anwendung von biologischen Verfahren zur Beschreibung der Auswirkungen von Kupferbelastungen im Boden

In Deutschland werden seit über 150 Jahren Kupfer-haltige Präparate gegen Pilzkrankheiten wie den Falschen Mehltau an Weinrebe und Hopfen oder die Kraut- und Knollenfäule an der Kartoffel eingesetzt. Bei wiederholter und langjähriger Anwendung kommt es zur Akkumulation von Kupfer im

Böden, die sich nachgewiesener Weise schädigend auf viele Bodenorganismen auswirken kann (RIEPERT, 2009).

Modellböden mit unterschiedlichen Kupfergesamtgehalten

Um einen ersten Überblick über die biologischen Aktivitäten in Böden von Reblagen mit unterschiedlichen Kupfergehalten zu bekommen, wurden 3 (Modell)-Böden ausgesucht, bei denen ein ansteigender Gesamtgehalt von Kupfer (Königswasser-Aufschluss) analysiert wurde. Die Gesamtgehalte hatten eine Spannweite von 150 mg bis 2040 mg Cu/kg TM Boden. Der bioverfügbare Anteil nach NH_4NO_3 -Aufschluss bewegte sich zwischen 0,22 und 3,08 mg/kg (STRUMPF *et al.*, 2011).

Die Böden wurden Labortests unterzogen. Eingesetzt wurden folgende Prüfverfahren:

Regenwurm-Fluchttest (DIN ISO 17512-1)

Regenwurm-Reproduktionstest (DIN ISO 11268-2)

Collembolen-Fluchttest (DIN ISO 17512-2)

Collembolen-Reproduktionstest (DIN ISO 11267)

Enchytraeen Reproduktionstest (DIN ISO 16387)

Laufkäfer-(*Poecilus cupreus*)-Larventest; korrigierte Mortalität (HEIMBACH *et al.* 2002)

Laufkäfer-(*Poecilus cupreus*)-Larventest; Verhaltensänderungen (HEIMBACH *et al.* 2002)

Dehydrogenase-Aktivität (DIN ISO 23753-1,-2)

Mikrobielle Biomasse (Bodenatmung) (DIN ISO 16072)

Potentielle Nitrifikation (DIN ISO 15685)

Tab. 1 Ergebnisse von Laboruntersuchungen zu Auswirkungen langjähriger Kupfereinträge auf das Bodenleben in Modellböden

Tab. 1 Results of laboratory tests to determine the effects of long-term copper loads on the soil life in model-soils

	GRAA	KARD	HE (25 %)	HE (50 %)	HE (75 %)	HE (99/100 %)
Gesamt-Gehalt [mg Cu/kg TM Boden]	428	151	510	1026	1532	2043
org. Substanz [%]	8,5	4,8				9,6
Prüfverfahren	Signifikante Unterschiede zur Kontrolle. ** alpha \leq 0,05					
Regenwurm-Fluchttest (48 h)	**			**	**	**
Regenwurm Repro.-Test Wachstum (28 d) + Juvenile (56 d)			**	**	**	**
Collembolen-Fluchttest (48 h)						
Coll.-Repro.-Test (28 d)	**	**				**
<i>Poecilus cupreus</i> - Larventest Korrigierte Mortalität [%]	70	100				5
<i>Poecilus cupreus</i> - Larventest Verhaltensänderung im Vergleich zur Referenz	ja	ja				nein
Substratinduzierte Atmung [mg CO ₂ /100 g TM * h]	5,9	5,23	3,80	4,08	5,48	7,51

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse von Laboruntersuchungen zu den Auswirkungen langjähriger Kupfereinträge auf das Bodenleben in Modellböden als Beispiel für die Anwendung und Aussagekraft einer Positivkontrolle als Mittel zur Interpretation der Testsysteme.

Die Labortests an Indikatoren der Bodenmakrofauna und Bodenmikroflora (Tabelle 1) zeigten bezogen auf die eingesetzten Testsysteme und Gesamtkupfergehalte unterschiedliche Ergebnisse. Während sich der das Meidungsverhalten von Würmern nutzende Regenwurmfluchttest (48 h) und der chronische Reproduktionstest (56 d) als sehr empfindlich gegenüber steigenden Kupfergehalten erwiesen, zeigte der Collembolen-Fluchttest über 48 h keine Reaktion. Der erheblich länger laufende Test mit Larven des Laufkäfers *Poecilus cupreus* (Mortalität und Verhaltensänderung) zeigte Effekte an. Hier war allerdings zu beachten, dass die Effekte nicht ausschließlich durch Kupfer zu erklären waren, da außer bei den hoch belasteten Modellböden (HE) keine klare Dosis-Wirkungsbeziehung erkennbar war. Noch deutlicher zeigt sich dies bei der Aktivität der Mikroorganismen. Da die Untersuchungen mit den im Boden vorhandenen Mikroorganismen durchgeführt wurden, hatten diese insofern genügend Zeit, sich an die erhöhten Kupfergehalte zu adaptieren. So war auch der Effekt zu erklären, dass bei der Abstreckung eines Modellbodens mit sehr hohen Kupfergesamtgehalten mit einem Referenzboden mit geringen Gehalten, die substratinduzierte mikrobielle Kurzzeitatmung trotz zunehmender Cu-Gesamtgehalte anstieg. Hier spielten offensichtlich andere Effekte eine Rolle, die noch näher untersucht werden müssen.

Ergebnisse von Laboruntersuchungen zu Auswirkungen langjähriger Kupfereinträge auf das Bodenleben im Weinanbau

Um die Effekte von Kupfer in Weinbergsböden zu untersuchen, wurden 8 Betriebe, die über die Qualitätsweinbaugebiete Deutschlands verteilt sind, beprobt. Die Auswahl der Flächen basiert auf der 2009 begonnenen Erhebung zum Kupfergehalt in der belebten Bodenschicht bis 20 cm Tiefe in den Hauptsonderkulturen Wein-, Obst- und Hopfenbau (RIEPERT *et al.*, 2010 und STRUMPF *et al.*, 2011). Von der Prüffläche (unterschiedlich langer Anbau von Wein), einer Referenzfläche (eine Brache, auf der mindestens seit 10 Jahren kein Wein mehr angebaut bzw. Kupfer ausgebracht wurde) und einer zugeordneten Kontrolle (Fläche auf der kein Wein angebaut wurde bzw. nie kupferhaltige PSM ausgebracht wurden) wurden Bodenproben genommen und im Labor untersucht.

Die Labortests an Indikatoren der Bodenmakrofauna und Bodenmikroflora zeigten bezogen auf die eingesetzten Testsysteme ein uneinheitliches Bild (Tab. 2). Ähnlich wie in früheren Untersuchungen erwies sich der das Meidungsverhalten von Würmern nutzende Regenwurmfluchttest (48 h) als der empfindlichste Test. Auch der erheblich längere Enchytraeen-Reproduktionstest und der bis zu 7 Wochen dauernde Test mit Larven des Laufkäfers *Poecilus cupreus* zeigten Effekte an. Die euedaphisch lebende Collembolenart *Folsomia candida* hingegen erwies sich als unempfindlich gegenüber einer breiten Spanne von Kupferkonzentrationen (siehe auch Tab. 1).

Die mikrobiologischen Funktionstests zeigten hinsichtlich unterschiedlicher Kupferbelastung keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle. Die Unterschiede in den Ergebnissen der Freiland- und Laborstudien lassen sich möglicherweise mit der eher geringen Verfügbarkeit der gealterten Rückstände für die Labortestsysteme begründen (Yu *et al.*, 2002), während die Freilanddaten die längerfristige Entwicklung unerwünschter Effekte auf Populationsebene widerspiegeln. Im Gegensatz zu den anderen ökotoxikologischen Testverfahren wurden hier bei Laboruntersuchungen keine Organismen aus Laborzuchten zugesetzt.

Bekannt ist auch aus den langen Erfahrungen mit der Risikobewertung bei der Umsetzung des Chemikalien- und Pflanzenschutzgesetzes, dass ein biologischer Indikator allein nicht ausreicht, um die Auswirkung von agrarrelevanten Stoffen auf die strukturelle Diversität im Boden zu beschreiben und zu bewerten. Entweder sind diese nur Vertreter eines bestimmten Habitates oder werden in ihrer Lebensweise von einem oder mehreren Parametern beeinflusst, die nicht beim Monitoring oder

Labortest untersucht wurden. Eine Kombination mit möglichst vielen Indikatoren unterschiedlicher trophischer Ebenen und unterschiedlicher Zeitdauer (Problem der Nachhaltigkeit) lassen eine relativ sichere Bewertung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf das Bodenleben zu.

Tab. 2 Ergebnisse von Laboruntersuchungen zu Auswirkungen langjähriger Kupfereinträge auf das Bodenleben im Weinanbau

Tab. 2 Results of laboratory tests to determine the effects of long-term copper loads on the soil life in viniculture

Betriebe		PF02	PF03	RH04	RH06	BA01	BA02	MO03	MO06
Gesamt-Gehalt [mg Cu/kg TM Boden]	PF1	74	179	133	38	27	186	29	227
	PF2					225		212	
	KON	47	28	18	26	88	25	19	22
org. Substanz [%]	PF1	8,4	5,2	10,8	5,2	4,18	4,08	1,97	3,31
	PF2					4,27		3,19	
	KON	8,6	7,7	9,4	6,7	4,24	2,56	2,42	2,09
Prüfverfahren		Statistisch signifikante Unterschiede zur Kontrolle: ** p ≤ 0,05							
Regenwurm-Fluchttest (48 h)					**		**	**	**
Regenwurm Repro.-Test Wachstum (28 d) + Juv. (56 d)			**			Sehr geringe Repro. in Kontrolle u. PF		Geringere Repro. in Kontrolle	**
Collembolen-Fluchttest (48 h)					**	Keine Tests durchgeführt			
Coll.-Repro.-Test (28 d)				**					**
Enchytraeen Repro.-Test (21d)			**				**		**
<i>Poecilus cupreus</i> - Larventest Käfergewichte						**		**	**
<i>Poecilus cupreus</i> - Larventest Korrigierte Mortalität > 50 % Prüffläche		nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
<i>Poecilus cupreus</i> - Larventest Verhaltensänderungen Prüffläche zu Referenz		nein	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein
Dehydrogenase-Aktivität				**					
Mikrobielle Biomasse						**			
Potentielle Nitrifikation					**	**	**		n.d.

Literatur

DIN ISO 11267:2001 Bodenbeschaffenheit – Hemmung der Reproduktion von Collembolen (*Folsomia candida*) durch Bodenschadstoffe (ISO 11267:1999).

DIN ISO 15685:2004 Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der potentiellen Nitrifizierung und Hemmung der Nitrifizierung – Schnellverfahren mittels Ammoniumoxidation (ISO 15685:2004).

DIN ISO 23753-1:2006 Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität in Böden – Teil 1 Verfahren mit Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) und Teil 2: Verfahren mit Iodotetrazoliumchlorid (ISO 23753-1,2:2005).

DIN ISO 17512-2:2009 Bodenbeschaffenheit – Vermeidungstest zur Bestimmung der Bodenbeschaffenheit und der Auswirkungen von Chemikalien auf das Verhalten – Teil 1: Prüfung mit Collembolen (*Folsomia candida*) (ISO/CD 17512-2:2008).

DIN ISO 17512-1:2010 Bodenbeschaffenheit – Vermeidungstest zur Bestimmung der Bodenbeschaffenheit und der Auswirkungen von Chemikalien auf das Verhalten – Teil 1: Prüfung von Regenwürmern (*Eisenia fetida* und *Eisenia andreii*) (ISO 17512-1:2008).

DIN ISO 11268-2:2010 Bodenbeschaffenheit – Wirkung von Schadstoffen auf Regenwürmer (*Eisenia fetida*/*Eisenia andreii*) – Teil 2: Bestimmung der Wirkung auf die Reproduktionsleistung (ISO CD 11268-2:2010).

DIN ISO 16072:2011 Bodenbeschaffenheit – Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung (ISO 16072:2002).

DIN ISO 14240-1:2011 Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden – Teil 1: Substrat-induziertes Respirationsverfahren (ISO 14240-1:1997) Deutsche Fassung EN ISO 14240-1:2011.

HEIMBACH, U., B. BAIER, M. BARTH, S. BLÜMEL, I. GEUIJEN, B. JÄCKEL, C. MAUS, K. NIENSTEDT, S. SCHMITZLER, P. STÄBLER, A.

UFER and G. WINKELMANN, 2002: First ring test results of a laboratory method to evaluate effects of plant protection products on larvae of *Poecilus cupreus* (Coleoptera: Carabidae). IOBC/wprs Bulletin vol. **25** (11), 19-26.

RIEPERT, F., A. STEINDL, R. EIBACH, M. MAIXNER, CH. REICHMUTH, J. STRASSEMAYER and T. STRUMPF, 2010: Monitoring of total contents of copper in organically and conventionally managed soils. Part 1: Study plan and preliminary sampling of copper and other anthropogenic induced heavy metal contents in vineyard soils. Journal für Kulturpflanzen, **662** (2), 42-50.

RIEPERT, F., 2009: Auswirkungen von Kupferbelastungen auf ausgewählte Indikatoren der Bodenzönose, Journal für Kulturpflanzen, **61** (4), 131-139.

STRUMPF, T., A. STEINDL, J. STRASSEMAYER und F. RIEPERT, 2011: Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 1: Gesamtgehalte in Weinbergsböden deutscher Qualitätsanbaugebiete. Journal für Kulturpflanzen, **63** (5), 131-143.

YU, S., Z. L. HE, C. Y. HUANG, G. C. CHEN and D. V. CALVERT, 2002: Adsorption-desorption behavior of copper contaminated levels in red soils from China. J. Environ. Qual. **31**, 1129-1136.