

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Regenwurmzönose - Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau

Effects of copper-containing plant protection products on soil fertility using earthworms as indicators and the example of vineyards

FKZ: 12NA010

Projektnehmer:

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz
Königin-Luise-Straße 19, 14195 Berlin
Tel.: +49 30 8304-2501
Fax: +49 30 8304-2503
E-Mail: oevp@jki.bund.de
Internet: www.jki.bund.de

Autoren:

Strumpf, Thomas; Strassemeyer, Jörn; Herwig, Nadine; Horney, Peter; Felgentreu, Dieter; Hommel, Bernd; Krück, Stefanie

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft



Abschlussbericht

Titel des Forschungsvorhabens:

Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau

Förderkennzeichen Bundesprogramm Ökologischer Landbau: 2812NA010

Laufzeit des Vorhabens: 15.08.2012 – 28.02.2015

Zuwendungsempfänger: Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz Kö-
nigin – Luise - Str. 19, 14195 Berlin
Institut für Strategien und Folgeabschätzung 14532 Kleinmachnow,
Stahnsdorfer Damm 81

unter Mitwirkung von: Dr. Stefanie Krück, Freie Beraterin Pflanzenbauliche Forschung
und Bodenbiologie; 12051 Berlin, Warthestr. 13

Kooperationspartner: ECOVIN Bundesverband Ökologischer Weinbau e.V.; 55276 Oppenheim,
Wormser Str. 162
Deutscher Weinbauverband e.V., 53113 Bonn, Heussallee 26
Bioland e.V. Kaiserstr. 18, 55116 Mainz
Naturland - Verband für ökologischen Landbau e.V., 82166 Gräfelfing,
Kleinhaderner Weg 1

Autoren: Thomas Strumpf; Jörn Strassemeyer; Nadine Herwig; Peter Horney;
Dieter Felgentreu; Bernd Hommel & Stefanie Krück

Technische Assistenz Elke Reich, Martina Bloßfeld, Christian Menzel, Michael Glitschka, Silvia
Baas, Ursula Stendel, Catrin Vetter, Roshanak Taghinia, Manfred Berg
und Marion Batschon

Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau (Thomas Strumpf; Jörn Strassemeyer; Nadine Herwig; Peter Horney; Dieter Felgentreu; Bernd Hommel & Stefanie Krück)

Ziel der biologischen Zustandserfassung war die Darstellung eingetretener Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenfruchtbarkeit im Qualitätsweinbau auf der Grundlage aktuell vom JKI erhobener Daten zur Belastungs- und Expositionssituation an 16 repräsentativen Standorten. Die Auswirkungen von Kupfer auf die Bodenfruchtbarkeit bei Sonderkulturflächen wurden unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren unter realen Feldbedingungen bestimmt. Das Methodeninstrumentarium für die biologische Bestandsaufnahme bei Anwendungen kupferhaltiger PSM wurde weiter entwickelt und methodische Vorgaben für längerfristige Beobachtungen der Auswirkungen auf Indikatororganismen validiert. Aussagen zu Anpassungseffekten von Indikatorarten an Kupfergehalte im Boden und zum Einfluss von standortbezogenen Faktoren, Bewirtschaftungsweise, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmanagement auf bioverfügbares Kupfer liefern einen Beitrag zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion als Grundlage für die Beratung von Behörden und der Betriebe des ökologischen wie konventionellen Anbaus. Die Untersuchungen zu den Auswirkungen auf das Bodenleben dienen als wissenschaftliche Grundlage für die Nutzen-Risikoabschätzung des Wirkstoffs Kupfer in Verbindung mit seiner Aufnahme in die Liste genehmigter Wirkstoffe nach Artikel 78 Absatz 3 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009.

Effects of copper-containing plant protection products on soil fertility using earthworms as indicators and the example of vineyards (T. Strumpf; J. Strassemeyer; N. Herwig; P. Horney; D. Felgentreu; B. Hommel & St. Krück)

The aim of the biological survey was to demonstrate effects of copper pollution on the soil fertility in quality viticulture on the basis of data regarding the pollution and exposure situation in 16 representative locations which were collected by the JKI. The impact of copper on soil fertility in viticulture areas were determined using earthworms as indicators under actual field conditions. The methods and tools for biological inventories on applications of copper containing PPP have been further developed and methodological guidelines for long-term observations of the impacts on indicator organism have been validated. Conclusions about the adaptation effects of indicator species to copper levels in the soil and the influence of site-related factors, farming system, tillage, crop protection management on bio-available copper provide a contribution to the assessment of the sustainability of agricultural production and can serve as a basis for the advice of authorities and conventional and organic farms. The studies on the impact of copper contents in soil on soil life serve as a scientific basis for the benefit-risk assessment of the active substance copper and its addition to the regulation (EC) No 1107/2009.

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung.....	4
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	5
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN	6
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	7
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	8
3. Material und Methoden.....	9
3.1 Auswahl der Beprobungsstandorte	10
3.2 Erhebungsumfang	11
3.3 Verwendete Methoden zur biologischen Charakterisierung der Bodengüte im Labor	12
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	14
5. Diskussion der Ergebnisse.....	16
A) Methodvalidierung	16
B) Risikobewertung für Bodenorganismen.....	17
C) Laborversuche mit Indikatoren der Bodenzönose mit Weinbergböden.....	19
5.7 Bodenmakroorganismen	21
5.8 Bodenmikroorganismen.....	25
D) Gesamt- und bioverfügbare Kupferbodgehalte	27
6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	28
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	29
8. Zusammenfassung	31
9. Literaturverzeichnis	33
10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt.....	36
Verzeichnisse im Anhang zum Bericht	
Abbildungsverzeichnis.....	37
Tabellenverzeichnis.....	37

1. Aufgabenstellung

Sonderkulturflächen sind nicht nur Produktionsanlagen für besondere Lebensmittel und Erzeugnisse, sie sind auch historisch gewachsene, landschaftsprägende Habitate in Deutschland (Weinbau ca. 97T ha, Hopfenbau ca. 17,7T ha und Baumobstbau ca. 45.5T ha), welche sich durch sehr hohe Wertschöpfungen auszeichnen. Auf diesen Flächen werden seit über 100 Jahren kupferhaltige Pflanzenschutzmittel gegen Pflanzenkrankheiten, wie den Falschen Mehltau an Weinrebe und Hopfen, Kragenfäule und Obstbaumkrebs in Kern- und Steinobst, angewendet. Die langjährige Anwendung kupferhaltiger Fungizide hat zu Kupferanreicherungen im Boden und damit verbunden zu möglichen Auswirkungen auf Bodenorganismen und die Bodenfruchtbarkeit geführt [1].

Da alle europäischen Staaten, in denen solche Kulturen angebaut werden, gleichermaßen betroffen sind, hat die EU-Kommission Kupfer nur unter den Auflagen, dass auf nationaler Ebene Maßnahmen zur Reduzierung der Anwendung ergriffen werden (‚Kupferminimierungsstrategie‘) und zusätzlich ein zulassungsbegleitendes Monitoring (Richtlinie 2009/37/EG vom 23. April 2009 [2]) durchgeführt wird, unter Vorbehalt und befristet in die Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln [3] aufgenommen. Die EU-Kommission wird auf der Grundlage der von den Mitgliedsländern bereitgestellten aktuellen Daten abschließend über die Aufnahme von Kupfer in die VO 1107/2009/EG entscheiden, wovon die Verfügbarkeit von Kupfer als chemisches Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft nach dem Jahr 2018 abhängen wird.

Das JKI trägt mit einem umfangreichen Forschungsprogramm zur wissenschaftlichen Begleitung der nationalen Kupferminimierungsstrategie bei. Es verfolgt das Ziel, Kupfereinträge auf landwirtschaftliche Flächen zu reduzieren, um Risiken für den Naturhaushalt weiter zu minimieren. Voraussetzung zur Bewertung der Risiken sind aber Kenntnisse über die Exposition und die Auswirkungen von Kupfer auf die Bodenfruchtbarkeit.

In aktuellen Felderhebungen wurde eine differenzierte Übersicht über die vorhandene Kupferbelastungssituation in den Hauptsonderkulturen [Wein (85 Betriebe) [4], Hopfen (13 Betriebe) [5], Baumobst (52 Betriebe) [6]] erstellt, die zugleich gebietstypische Anbausituationen berücksichtigt. Durch Verknüpfung der Anbauflächen mit ihrer Bewirtschaftungshistorie sind praxisangelehnte landwirtschaftliche Dauerversuchsflächen zum Untersuchungsgegenstand geworden, welche unterschiedliche Bewirtschaftungs- und Nutzungsmanagementstrategien bei langjähriger Nutzung widerspiegeln.

Die inzwischen ermittelten Daten zur Belastungsverteilung sowie zur Expositionsabschätzung (mobile Anteile im NH_4NO_3 - und CaCl_2 -Extrakt) [7, 8] liefern eine solide Basis für die Auswahl solcher Flächen, die die Vielfalt der das Bodenleben bestimmenden Einflussgrößen abbilden.

„Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

Neben diesem chemischen Monitoring sind Untersuchungen zu den Auswirkungen des Kupfers auf Bodenorganismen als Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit angezeigt, da kupferhaltige Pflanzenschutzmittel für die zahlreichen ökologisch wirtschaftenden mittelständigen Weinbaubetriebe noch als unverzichtbar gelten, solange keine Alternativen zur Schadensabwehr bzw. keine ausreichend resistenten Sorten zur Verfügung stehen und auch vom Verbraucher akzeptiert werden. Für den konventionellen Anbau sind kupferhaltige Pflanzenschutzmittel ein wichtiger Baustein für ein nachhaltiges Resistenzmanagement in Verbindung mit der Anwendung synthetischer PSM.

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die befristete Aufnahme von Kupferverbindungen [9] zwingt die Antragsteller zur Vorlage längerfristiger Feldstudien, für deren Konzeption als Grundlage der Auftragsvergabe und deren späteren Bewertung durch die beteiligten Behörden im Zulassungsverfahren wissenschaftlich begründete Anleitungen und Entscheidungshilfen erforderlich sind. Umfang und Ausführung der Freilandhebungen haben unmittelbaren Einfluss auf Kosten und Güte der jeweiligen Studie. Die Entscheidung über den Verbleib in der Liste der genehmigten Wirkstoffe wird unter Berücksichtigung aller verfügbaren Daten erfolgen und risikorelevante Standortbedingungen integrieren. Die Untersuchungsergebnisse können insofern sowohl zur Validität der ausstehenden Studien als auch zur Interpretation der Daten einen wichtigen Beitrag liefern, da anders als für Laborstudien keine normativen Vorgaben zur Validität und zu einheitlichen Bewertungskriterien vorliegen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden mit Hilfe aktueller biologischer Zustandserhebungen des Ökosystems Boden (biologisches Monitoring) methodische Vorschläge für längerfristige Beobachtungen der Auswirkungen kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel auf Indikatororganismen weiterentwickelt, so dass Anpassungseffekte von Indikatorarten an Kupfergehalte im Boden und zum Einfluss von Bewirtschaftungsweise, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmanagement und topographischen Faktoren auf die Bioverfügbarkeit Berücksichtigung finden. Dies diente auch dem Ziel, ein Methodeninstrumentarium bereit zu stellen, um die Auswirkungen von Kupferbelastungen auf Regenwürmer in repräsentativen Weinlagen bewerten zu können.

Diese Untersuchungen zu den Auswirkungen der Kupfergehalte auf das Bodenleben dienen zugleich als wissenschaftliche Grundlage für die Nutzen-Risikoabschätzung des Wirkstoffs Kupfer in Verbindung mit seiner Aufnahme in die Liste der genehmigten Wirkstoffe nach Artikel 78 Absatz 3 der Verordnung 1107/2009/EG.

Im Endeffekt soll auf der Grundlage aller Ergebnisse eine Ableitung kritischer, standortbezogener Bodengehalte ermöglicht werden. Im Rahmen des Zulassungsverfahrens für Pflan-

zenschuttmittel gewonnene Daten stellen insofern eine willkommene Ergänzung des Datenpools dar, der vor dem Hintergrund der enormen Standortvielfalt zu Absicherung der Hypothesenprüfung beiträgt.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN

Hohe Aufwandsmengen an Cu-haltigen Pflanzenschutzmitteln in der Vergangenheit haben zu einer Akkumulation in Böden geführt [4, [10](#), [11](#)], andererseits erfolgt bis heute ein ständiger Eintrag neuen Kupfers – wenn auch in deutlich geringeren Mengen – auf die langjährig genutzten Flächen.

Dieser Umstand wäre nicht relevant, wenn vor dem Hintergrund der kritischen Bewertung der Wirkungen von Kupfer auf Bodenorganismen einschließlich Wirbeltieren im Zulassungsverfahren und der befristeten Aufnahme in die VO (EG) Nr. 1107/2009 einerseits und gegensätzlichen Beobachtungen von Praktikern bei Feldbegehungen andererseits keine unterschiedliche Wahrnehmung des Problems vorhanden wäre. Deshalb wurden in mehreren Fachgesprächen seit 2008 Risiken und Nutzen von Anwendungen kupferhaltiger Mittel dargestellt und Handlungsbedarf ausgemacht.

Es war deshalb dringend geboten, das Methodeninstrumentarium weiter zu entwickeln und deren Eignung zur Erfassung der Auswirkungen von Kupferbelastungen auf den Bodenbioindikator Regenwurm für ein zukünftiges biologisches Monitoring in repräsentativen Weinlagen zu bewerten.

Die biologische Statuserhebung an charakteristischen Qualitätsweinbaustandorten schließt für Deutschland typische Weinbergböden ein, bildet das Spektrum unterschiedlicher Kupferbelastungssituationen in der Kultur Weinbau ab und dient der Erarbeitung aktueller Daten zu den Auswirkungen der Kupfergehalte in Böden im ökologischen Weinbau auf das Bodenleben.

Sie sollten folgende Themen abdecken:

- Validierung des Methodeninstrumentariums für biologische Bestandsaufnahmen bei landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen kupferhaltiger PSM,
- Ableitung methodischer Vorgaben für längerfristige Beobachtungen der Auswirkungen von kupferhaltigen PSM auf Indikatororganismen bei nachhaltiger landwirtschaftliche Nutzung,
- Aussagen zu Anpassungseffekten von Indikatorarten an Kupfergehalte im Boden,
- Aussagen zum Einfluss von standortbezogenen Faktoren, Bewirtschaftungsweise, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmanagement auf bioverfügbare Kupfergehalte,
- Beitrag zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion als Grundlage für die Beratung von Behörden und der Betriebe des konventionellen wie ökologischen Anbaus.

Damit wird eine Grundvoraussetzung für die Planung und Durchführung einer Langzeiterhebung zur Erarbeitung aktueller Daten zu den Auswirkungen der Kupfergehalte in Böden im ökologischen Weinbau auf das Bodenleben im Sinne des ‚Strategiepapiers zum Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus‘ [12] geschaffen, welche entwicklungs-dynamische Aspekte berücksichtigt.

Dies ist zugleich eine wichtige Voraussetzung für das von der Kommission geforderte zulassungsbegleitende Monitoring auf nationaler Ebene geschaffen [2]. Dort steht u. a. „Die Mitgliedstaaten führen Programme zur Überwachung gefährdeter Gebiete ein, in denen die Kontamination des Bodens mit Kupfer Anlass zur Besorgnis gibt, damit sie gegebenenfalls Beschränkungen erlassen können, z. B. hinsichtlich der zulässigen Aufwandmengen“.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Im Rahmen der Untersuchungen zur ‚langjährige Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel bei Dauerkulturen‘ hat das Julius Kühn-Institut umfangreiche Beprobungen zur Beschreibung der aktuellen Situation der Kupferbelastungen von Oberböden im ökologisch und/oder konventionell bewirtschafteten Qualitätsweinbau durchgeführt (Belastungserhebungen). Dies sollte als Entscheidungshilfe für die Erarbeitung von Vorschlägen für das von der EU-Kommission in den Mitgliedsländern geforderte zulassungsbegleitende Monitoring (Richtlinie 2009/37/EG vom 23. April 2009) dienen.

Nach der Erarbeitung konzeptioneller Grundlagen unter Berücksichtigung des „Leitfadens zur Koordinierung der Monitoringaktivitäten der Untersuchungen zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln“ des BVL (Fassung vom 26.04.2010) war durch das Vorprojekt „Vorbereitung einer Feldstudie zur Erfassung der Kupfergehalte von Böden im Ökologischen Landbau und zu den Auswirkungen auf Regenwürmer“ die Möglichkeit gegeben, in Felderhebungen in der Dauerkultur Wein eine Bodenbeprobungskampagne bei 85 ökologisch/konventionell wirtschaftenden Betrieben durchzuführen. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden Standorte identifiziert, die grundsätzlich geeignet erscheinen, die Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren zu bewerten [13].

Die ermittelte Belastungsverteilung der Kupfergesamtgehalte [4], der im NH_4NO_3 -Extrakt pflanzenverfügbaren [7] und der im CaCl_2 -Extrakt regenwurmverfügbaren Kupfergehalte [8] auf repräsentativ beprobten Flächen deutscher Qualitätsweinanbaugebiete mündete in Vorschläge repräsentativer Weinbaulagen für die Zulassungsbehörden (BVL, UBA), die für ein Monitoring der Regenwurmzönose geeignet erscheinen.

Die im Zuweisungsschreiben der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft vom 15.08. 2012 zugewiesenen Bundesmittel (Projektlaufzeit 15.08.2012 – 28.02.2015) konnten auf Antrag kostenneutral dem jährlichen Reisekostenbedarf durch Mittelumwidmung angepasst werden. Der beantragte und genehmigte Untersuchungsumfang des Vorhabens bezog sich zunächst auf 14 Weinlagen in 8 Qualitätsweinbaugebieten. Für die Auswahl der Weinbauflächen für die biologische Zustandserhebung der Regenwurmpopulation wurden verschiedene Kriterien im Sinne des Dosis-Wirkungsprinzips herangezogen. Bei den schwer zugänglichen Beprobungsflächen handelte es sich um Steillagen, welche Bestandteil des genehmigten Flächenumfanges waren, aber einen zusätzlichen personellen Aufwand bei der Freilandhebung der Regenwurmzönose erforderten (10 Personen anstatt 9), welches zu einem Mehrbedarf an Reisekosten führte.

Während der Untersuchungen wurde das Versuchsdesign derart erweitert, dass zusätzlich sowohl ‚Extremflächen‘ mit sehr hohen Kupfergehalten und geringen Verfügbarkeiten als auch geringen Kupfergehalten aber sehr hohen Verfügbarkeiten einbezogen wurden. Mit den jetzt vorliegenden Daten von 16 Weinlagen in 9 Qualitätsweinbaugebieten werden eingetretene Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenzönose an solchen Weinbaustandorten umfassend abgebildet, denen wegen ihrer standort- und bewirtschaftungstypischen Eigenschaften ein Modellcharakter zugeschrieben werden kann.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Kupferhaltige Pflanzenschutzmittel stehen seit längerem im Zentrum von Diskussionen um eine nachhaltige Landbewirtschaftung. Die Datenlage zur Anreicherung von Kupfer in landwirtschaftlich genutzten Böden infolge der langjährigen Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit ist unbefriedigend. Eine abschließende Bewertung des Problems, sowohl bezogen auf die betroffene Fläche in Deutschland, als auch hinsichtlich des Ausmaßes der Kupfer-Anreicherung und der Schädigung des Bodenlebens, ist mit der vorliegenden Datenbasis noch nicht möglich [14, 15]. Für längerfristige Beobachtungen der Exposition und den daraus resultierenden Auswirkungen von kupferhaltigen PSM auf Indikatororganismen der Bodengüte im Ökosystem Boden (biologisches Monitoring) fehlen noch methodische Vorgaben, um die multifaktoriell beeinflussten Kupferverfügbarkeiten standortbezogen prognostizieren zu können.

Im Ökoweinbau ist Kupfer auch heute noch das einzig wirksame Fungizid gegen den Falschen Mehltau der Rebe (*Plasmopara viticola*), den Roten Brenner (*Pseudopezicula tracheiphila*) und die Schwarzfäule (*Guignardia bidwellii*). Die Existenz des Ökologischen Weinbaus in Deutschland, aber auch in anderen europäischen Ländern der Weinbauzonen A+B hängt momentan noch ganz wesentlich von der weiteren Verfügbarkeit von Kupfermit-

tern ab. Speziell in diesen Zonen ist die Rebenperonospora im Ökoweinbau regelmäßig prophylaktisch zu bekämpfen, da keine kurativen Mittel zur Verfügung stehen. Ein Verzicht auf kupferhaltige Präparate würde zu einer verringerten Produktionssicherheit im Ökoweinbau in den genannten Gebieten führen.

3. Material und Methoden

Unter Berücksichtigung der konzeptionellen Grundlagen des „Leitfadens zur Koordinierung der Monitoringaktivitäten der Untersuchungen zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln - BVL“ wurden Qualitätsweinbaustandorte identifiziert, die jeweils aus mindestens einer seit längerem bewirtschafteten Fläche – Prüffläche -, einer seit ≥ 10 Jahren stillgelegten Weinbrache mit Kupferaltlast - Referenzfläche - und einer in Nachbarschaft liegenden Fläche ohne anthropogene Kupferbelastung – Kontrollfläche -, die nach Auskunft der beteiligten Bewirtschafter niemals weinbaulich genutzt wurde, bestehen.

Das Artenvorkommen und die Abundanz der Regenwurmzönose werden auf jeder Untersuchungsfläche innerhalb von $4 \times 0,25 \text{ m}^2$ (4 Versuchsglieder/Teilflächen), verteilt über den Schlag, durch Handauslese der epi- und endogäischen Arten aus einer 20 cm tiefen Bodenschicht im Bodenaushub des Beprobungshorizonts erfasst. Anschließend werden die Tiefengräber aus der freigelegten Aushubfläche nach Austreibung aufgesammelt, wie es bereits beschrieben wurde [15]. Als Endpunkte zur Bewertung des Risikos für Bodenlebewesen, das der langjährigen Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel und damit einhergehender Kupferanreicherung im Boden zuzuschreiben ist, wurden biologische Parameter auf dem Feld (Gesamtabundanz und –biomasse, Abundanz und Biomasse der Lebensformtypen und Artenzahl, sowie Abundanz und Biomasse einzelner Arten) gemäß DIN ISO 23611-1 [16] gewählt.

Für die verschiedenen Standorte und Flächentypen wird auf der Grundlage der Anzahl der Arten und ihrer Abundanz der Shannon-Wiener-Index H wie folgt berechnet [17, 18]:

$$H = - \sum_i p_i \cdot \ln p_i \text{ mit } p_i = \frac{n_i}{N}$$

Der Shannon-Wiener-Index H ist dabei ein Ausdruck für die Diversität in einer Gesellschaft von n Arten: n = Anzahl der vorhandenen Arten; p_i = relative Abundanz der i-ten Art, gemessen von 0,0 – 1,0 (gehören 10 % der extrahierten Organismen dieser Art an, so ist p_i 0,10). H gibt den mittleren Grad der „Ungewissheit“ an, bei zufälliger Probenahme eine bestimmte von mehreren Arten aufzunehmen. Je näher H der Null kommt, desto dominanter werden die Individuen einer Art in der Gemeinschaft. Somit ergibt sich der kleinste Wert 0, wenn nur eine Art mit 100% am Individuenbestand beteiligt ist. Der Maximalwert wird erreicht, wenn –

der unwahrscheinliche Fall eintritt - die Artenanzahl gleich der Individuenanzahl ist oder bei vorhandener Artenanzahl alle den gleichen Individuenanteil haben ($p_1 = p_2 = p_3 \dots$).

Die taxonomische Bestimmung der Regenwürmer wurde an lebenden Tieren unter Nutzung der Bestimmungsliteratur [z.B. [19](#), [20](#), [21](#)] durchgeführt. Die Nomenklatur richtet sich nach EASTON [\[22\]](#) und BLAKEMORE [\[23\]](#).

Parallel zu der biologischen Zustandserhebung der Regenwurmzönosen wurde Bodenaushub des Erhebungshorizonts von jeder Teilfläche (jeweils getrennt für Prüf-, Referenz- und Kontrollfläche) für Indikatorenversuche im Labor entnommen, mit einem 5 mm Sieb gesiebt, zu einer Mischprobe vereinigt, in verschließbaren 15 l Polyethylen-Eimern während der Beprobungstouren gelagert und anschließend ins Labor transportiert („Eimerproben“). Im Labor wurden die elementanalytischen Untersuchungen und Bestimmungen der wichtigsten bodenkundlichen Parameter nach normierten Verfahren durchgeführt. Das verwendete Methodeninventar entspricht dem, wie es bereits bei den Belastungserhebungen im Qualitätsweinbau verwendet wurde [4]. Zusätzlich wurde die effektive Kationenaustauschkapazität [\[24\]](#) von jeder Mischprobe bestimmt (siehe Tab. 2).

Für die Bestimmung des Kupfergehaltes im Regenwurm wurde der Boden mit der „Filter Papier Methode“ aus dem Regenwurmdarm entfernt [\[25\]](#). Die anschließende Kupferbestimmung im Regenwurmgewebe erfolgte nach Druckaufschluss mit HNO_3 [\[26\]](#) mittels Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) mit einem IRIS Intrepid® [\[27\]](#).

3.1 Auswahl der Beprobungsstandorte

In einer Machbarkeitsstudie wurden im Vorfeld der Herbst 2012 begonnenen Untersuchungen bei acht Weinbaubetrieben biologische Statuserhebungen der Regenwurmzönose durch das JKI durchgeführt, um das Methodeninstrumentarium an anstehende Untersuchungsprogramme zu adaptieren und um weitere Elemente zu ergänzen [15].

Anhand der gewonnenen Daten zur Belastungssituation, Standortbeschreibung und Bewirtschaftungsdauer wurden Reblagen ausgewählt, die aufgrund ihrer Eigenschaften einen bestimmten Standorttyp repräsentieren und die standörtlichen Voraussetzungen bieten, durch eine Erhebung zum Vorkommen von Lumbriciden, Rückschlüsse auf das Risiko für Bodenlebewesen zu ziehen, das der Kupferanreicherung im Boden geschuldet ist. Maßgebliche Auswahlkriterien waren neben der Abbildung der auftretenden Belastungsverteilung standortbezogene pedologische und bewirtschaftungstypische Parameter, die auf die Regenwurmlebensgemeinschaft, je nach Lebensform in unterschiedlicher Ausprägung, Einfluss ausüben, um letztendlich ein repräsentatives Bild der Auswirkungen von langjährigen Kupferbehandlungen zu erhalten. Es sind alle Qualitätsweinbaugebiete (Einbeziehung klimatischer Unterschiede) und ihre repräsentativen Standorte vertreten, um die für den Rebbau in

Deutschland charakteristischen Bodentypen - Schieferschotter, Lößlehme, vulkanische Verwitterungsgesteine, Muschelkalkformationen und Schwemmböden - zu berücksichtigen.

3.2 Erhebungsumfang

Um das Untersuchungsziel, der Beschreibung der wichtigsten risikorelevanten Faktoren, eine möglichst breite Erhebungsbasis zu geben, wurden 16 bisher nicht berücksichtigte Lagen einbezogen (Tab. 1). Diese Auswahl bezieht nun auch Steillagen ein, die einerseits aus erhebungstechnischer Sicht eine größere Herausforderung darstellen und daher bislang ausgeklammert blieben, andererseits aber Auskunft über das Bodenleben an extremen Standorten geben können.

Ein besonderes Augenmerk galt ferner auch Lagen, die zwar geringere Bodenbelastungen ($< 100 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ Boden TM) aufweisen, aber durch höhere Kupferverfügbarkeiten gekennzeichnet sind, um möglichen Anpassungseffekten von Regenwurmgemeinschaften und innerhalb dieser nachgehen zu können.

Im Rahmen einer ‚freiwilligen Risikoabschätzung‘ kupferhaltiger PSM gewonnene Daten stellen eine willkommene Ergänzung des Datenpools dar, der vor dem Hintergrund der enormen Standortvielfalt zu Absicherung der Hypothesenprüfung beiträgt. Im Endeffekt soll auf der Grundlage aller Ergebnisse eine Ableitung kritischer, standortbezogener Bodengehalte ermöglicht werden.

Es bleibt späteren Projekten vorbehalten zu untersuchen, in wie weit mehrmalige Regenwurmerhebungen (über mehrere Jahre am gleichen Ort und im selben Zeitraum = Monitoring) vergleichbare Ergebnisse liefern.

Die Freilandhebungen zur Erfassung der Auswirkungen von Kupfer auf Regenwürmer in Böden im ökologischen und konventionellen Weinbau erfolgte über den ECOVIN Bundesverband Ökologischer Weinbau e.V. und den Deutschen Weinbauverband e.V. nur nach Zustimmung und mit Beteiligung der jeweiligen Winzer auf deren Praxisflächen vor Ort bzw. mit den weinbauassoziierten Lehr-, Versuchs- und Forschungsanstalten.

Tab. 1: Mittlere Cu-Gesamtgehalte pro Untersuchungsfläche (mg Cu/kg Boden TM) von Prüf-, Referenz- und Kontrollflächen von 24 Qualitätsweinbaubetrieben, bei denen Erhebungen der Regenwurmzönose durch JKI erfolgten - geordnet nach den Betriebs-Code-Nummern (Zweibuchstabencode = Anbaugesamt)

Beprobung Monat/Jahr	Code	Prüffläche		Referenz- fläche	Kontroll- fläche
	Betrieb alphabetisch	1	2		
		[mg Cu/kg Boden TM]			
Apr 11	BA_01	27	225	188	88*
Apr 11	BA_02	186		305	25
Okt 14	BA_05	75		52	31
Okt 14	BA_06	93		60	21
Okt 12	FR_05	38	72	79	18
Apr 11	MO_03	29	212	272	19
Apr 14	MO_04	215		196	16
Apr 11	MO_06	227		93	22
Apr 14	MO_07	235		129	30
Apr 13	MR_01	95	131	97	29
Okt 13	MR_03	54		40	34
Okt 13	NA_01	76	77	43	28
Okt 10	PF_02	74		49	47*
Okt 10	PF_03	179		34	28
Apr 13	RG_03	149		110	23
Okt 10	RH_04	133		124	18
Okt 10	RH_06	38		107	26
Okt 13	RH_10	55		109	32
Apr 13	RH_11	56		54	32
Okt 14	SN_01	14	36	8	7
Okt 12	WÜ_07	119		61	20
Okt 12	WÜ_08	66		125	73*
Apr 14	WÜ_10	252		326	38
Okt 12	WÜ_13	154		82	20
Σ Flächentyp		24	6	24	24

* die nach Aussagen der Bewirtschafter niemals weinbaulich genutzten Beprobungsflächen (Kontrollen) besitzen hohe Gesamtgehalte, so dass man davon ausgehen kann, dass in der Vergangenheit auf diese Kupfer aufgebracht wurde.

3.3 Verwendete Methoden zur biologischen Charakterisierung der Bodengüte im Labor

Mit einem Vertreter aus der Gruppe der Oligochaeten (Annelida), dem Kompostwurm *Eisenia andrei* und der Collembolenart *Folsomia candida* konnten Indikatoren der Bodengüte verwendet werden, die methodisch handhabbar sind und aus ökologischer Sicht verschiedene trophische Ebenen und Lebensraumtypen abdecken. Darüber hinaus kamen schnelle und längerfristige Tests mit überwiegend subletalen Endpunkten im Verhaltens-, Wachstums- und Vermehrungsbereich zum Einsatz. Die eingesetzten mikrobiologischen Funktionstests

stehen für Wirkungen auf die allgemeine mikrobielle Aktivität in den beiden wichtigen Stoffkreisläufen der Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisation.

Standardisierte faunistische Laborverfahren

Die Einbindung standardisierter faunistischer und mikrobiologischer Laborverfahren in das Untersuchungskonzept zur repräsentativen Erfassung von Kupfergehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden und deren Auswirkungen auf Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit soll zusätzliche Hinweise auf die Bodengüte unter dem Aspekt zu erwartender Beeinträchtigungen durch die gemessenen Kupfergehalte liefern.

Für die biologische Charakterisierung der Bodengüte wurden speziell hierfür genormte biologische Standardtests (Regenwurm-Fluchttest [28], Regenwurm-Reproduktionstest [29] der Collembolen-Reproduktionstest [30]) herangezogen.

Bei den Laboruntersuchungen zu den Auswirkungen von kupferhaltigen PSM auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Mikroorganismengesellschaften als Indikatoren mit den Standortböden bekannter Historie kommen international genormte biologische Standardtests [Erfassung der mikrobiellen Aktivität der Böden: C-Mineralisation (Bodenatmung [31], Dehydrogenaseaktivität [32], N-Transformation [33] [(Ammonium-, Nitrit-, Nitratgehalte)] zur Anwendung. Im Gegensatz zu den in Zucht gehaltenen faunistischen Indikatoren, die den Prüfsubstraten während der Prüfung zugesetzt werden, basieren die mikrobiologischen Prüfverfahren auf den Reaktionen der im Prüfsubstrat enthaltenen Mikroflora.

Die Lagerung der Laborproben erfolgte nach Bestimmung der Restfeuchte und der maximalen Wasserhaltekapazität bei 4 °C in einer Kühlzelle. Zur Defaunierung wurden die Laborproben ca. 14 Tage vor dem geplanten Versuchsbeginn auf 50 - 60 % ihrer maximalen Wasserkapazität eingestellt und anschließend 14 Tage bei -20 °C in der Tiefkühltruhe gelagert (Proben wurden nur im Falle der Collembolentests defauniert, um räuberische Arten auszuschalten).

Prüf- und Kontrollböden

In ökologischer und/oder konventioneller Bewirtschaftung befindliche Rebflächen bekannter Historie sind Prüfböden, deren Auswahl für biologische Zustandserfassungen auf der Grundlage der in 3.1 genannten Kriterien erfolgte. Die Kontrollböden, die aus der Umgebung der Prüfflächen ausgewählt wurden, sollten den Angaben der Winzer zufolge nicht in Nutzung gewesen sein und demzufolge die ortstypische Belastungssituation mit Kupfer widerspiegeln. Diese Böden decken geringe bis mittelhohe Kupferbelastungssituationen in einem Bereich zwischen 8 bis 272 mg Cu kg⁻¹ Boden (TM) ab.

Für den Vergleich der Prüfböden (Böden von den Prüf- und Kontrollflächen, PF bzw. KO) wurde in den Tests auch ein sogenannter Lagerboden von dem Dahlemer Versuchsfeld mit langjähriger Erfahrung über dessen Wirkverhalten und – nur für den Collembolen-Test – zu-

sätzlich ein künstlich zusammengesetzter Boden herangezogen, um sicherstellen zu können, dass sich die Testorganismen ‚normal‘ verhalten. Für den Collembolen-Test wurde zusätzlich ein künstlich zusammengesetzter Boden herangezogen.

Referenz: Ein für Referenzzwecke (interne Referenz) vorrätig gehaltener Boden vom Dahlemer Versuchsfeld („Lagerboden“) wurde im Jahr 2000 aus den Parzellen 21 und 27 entnommen und bei Raumtemperatur lufttrocken gelagert. Dieser Boden wurde langjährig konventionell bewirtschaftet und enthält urban bedingte Hintergrundgehalten an Schadelementen. Er wird seither bei vielfältigen Fragestellungen bei Versuchen mit Bodenorganismen als Referenzboden verwendet, um einen Anhaltspunkt für die aktuelle Empfindlichkeit der Prüforganismen zu erhalten. Auch dieser Boden wurde vor Versuchsbeginn auf 5 mm gesiebt und auf den erforderlichen, testabhängigen Anteil der maximalen Wasserkapazität eingestellt. Mindestens 14 Tage vor Versuchsbeginn wurde dieser Boden befeuchtet und durchmischt, um für mikrobielle Aktivität zu sorgen.

Die Böden von den Referenzflächen (Ref) wurden in den Labortests (Reproduktionstest, Fluchttest) aus Kapazitätsgründen nicht berücksichtigt.

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Unter Einbeziehung der durch JKI im Vorfeld dieser Studie durchgeführten Regenwurmhebungen wurden im Frühjahr (April) 10 und im Herbst (Oktober) 14 Qualitätsweinbaubetriebe in die Untersuchungen einbezogen. Die in der Freilandstudie nach normierten Verfahren durchgeführte biologische Statuserfassung unter Nutzung von Regenwürmern als empfindliche Indikatororganismen zur Darstellung der Auswirkungen von Kupfereinträgen auf die Bodenfruchtbarkeit ergab, dass es aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auf die Regenwurmgesellschaften schwierig ist, die direkten Auswirkungen von Kupfer sowohl im Freiland als auch im Labor separat zu erfassen. Weder der Shannon-Wiener-Index noch die Biomasse oder der Cu-Gehalt der Würmer zeigen eine enge Abhängigkeit mit dem Bodenkupfergehalt ($Cu_{ges.}$). Eine hohe Diversität der Regenwurmgesellschaften geht (tendenziell) mit einer hohen Biomasse der endo- und epigäisch lebenden Regenwürmer pro m^2 einher. Standardisierte Tests mit Weinbergböden im Labor sind keine Alternative zu den Felderhebungen. Sie sind im Rahmen eines Monitoring nicht notwendig.

Die bisherigen Untersuchungen zum Verhalten, Verbleib und Exposition Cu-haltiger PSM zeigen, dass Kupfer auf den einzelnen Weinanbauflächen unterschiedlich verteilt ist. Ein direkter Zusammenhang zwischen Belastungshöhe und kupferverfügbaren Anteilen ist nur tendenziell vorhanden. Im Vergleich zu den zum Teil relativ hohen Kupfergehalten im Boden sind die für Pflanzen und Bodenorganismen verfügbaren Anteile sehr gering. Der dieser Freilandstudie parallel im Königswasser - Extrakt ermittelte Leaching – Alterungsfaktor (L/A-Faktor) liegt bei den in Bewirtschaftung befindlichen Rebflächen mit 1,8 unter dem von der

EFSA akzeptierten und von der AGES vorgeschlagenen L/A-Faktors von 2,0. Unter Verwendung der Modellextrakte für mobiles Kupfer ($\text{Cu}_{\text{CaCl}_2}$, $\text{Cu}_{\text{NH}_4\text{NO}_3}$) wurden unterschiedliche Korrekturfaktoren berechnet, so dass beide nicht zur Berechnung eines realistischen L/A-Faktors geeignet erscheinen.

Die Bewertung von zwei Extraktionsverfahren zur Prognose des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen bei Weinbaustandortböden ergab, dass bei der untersuchten Stichprobe von 78 Flächen (Prüf-, Referenz- und Kontrollflächen) ein doppelt logarithmischer Zusammenhang ($R^2 > 0,8$) zwischen den Kupfergehalten im Bodenextrakt und den auf der Basis von Extraktgehalten berechneten Biokonzentrationsfaktoren der Regenwurmzönose vorhanden ist. Aufgrund des hohen Bestimmtheitsmaßes wird vorgeschlagen, die Risiken für Bodenorganismen künftig unter Verwendung des NH_4NO_3 -Extrakts zu bewerten.

Die in den letzten Jahren durchgeführten Prüfungen zeigten, dass die Kupferverfügbarkeit, die Biodiversität und Abundanz von Regenwurmlebensgemeinschaften und die mikrobielle Aktivität multifaktoriell (z.B. Bodenparameter, Bewirtschaftungsdauer und -management, Klima, Alterung) beeinflusst werden. Einer Arbeitshypothese folgend, führt die Summe aller Einzeleinflussfaktoren zu standortbezogenen Kupferverfügbarkeiten. Um der enormen Standortvielfalt gerecht zu werden, sollten Nutzen-Risikobewertungen, Expositionsabschätzungen sowie die Bewertung der Auswirkungen von Cu-haltigen PSM auf Bodenzönosen standortbezogen unter Verwendung des verfügbaren Kupferanteiles durchgeführt werden.

Mit den verwendeten Methoden zur biologischen Charakterisierung der Bodengüte im Labor konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kupfergesamtgehalten und Wirkungen bei den Prüfböden der Qualitätsweinbaugebiete beobachtet werden. Die mikrobiellen Aktivitätsparameter scheinen von Kupfer nicht in erkennbarer Weise beeinflusst zu sein. Dies könnte daran liegen, dass eine zum Teil über Jahrzehnte adaptierte Mikroflora keine verallgemeinerungsfähige Aussage zum Risiko Cu-haltiger PSM für Bodenmikroorganismen ermöglicht – die Ansiedlung kupfertoleranter Mikros führt zu keiner Reduzierung der Bodenfruchtbarkeit.

Nach Erstellung eines Interfaces zur dezentralen und webbasierten Eingabe der Metadaten und Ergebnisse der einzelnen Versuchsflächen ist eine GIS-basierte räumliche Verknüpfung der Versuchsergebnisse mit bewirtschaftungsrelevanten, pedologischen, biologischen Datensätzen und digitalen Klimadaten (DWD) sowie Bodenkarten (BÜK 1000, BGR) möglich. Alle in dieser Studie ermittelten realen Freilanddaten dienen der Erstellung von Datenbanksystemen und Validierung von Modellen zur Risikoabschätzung von Kupferanwendungen auf der Fläche.

5. Diskussion der Ergebnisse

A) Methodvalidierung

Die nachfolgende Darstellung der Methodvalidierung bezieht sich auf 24 Betriebe mit 78 Beprobungsflächen (Tab. 1). Die Erhebungszeiträume wurden deshalb so gewählt, weil sie den Beprobungszeiträumen der Vorstudie entsprachen. Diese wurden in die Aktivitätsphasen der Regenwürmer, bei feuchten und kühlen Bodenbedingungen im Frühjahr und Herbst, gelegt. Im Sommer und im Winter befinden sich die Regenwürmer in Ruhestadien und sind mit den beschriebenen Methoden nicht repräsentativ zu erfassen.

Während der Feldstudien in den Qualitätsweinbaugebieten Baden, Franken, Mittelrhein, Mosel, Nahe, Pfalz, Rheingau, Rheinhessen, Sachsen und Württemberg ergaben sich Aspekte, die im Rahmen der Methodenentwicklung einer Anpassung der Beprobungsnorm an die Standortbedingungen bedurften.

Bei heterogenen Belastungsverteilungen orientierte sich die Teilflächenauswahl auf den Untersuchungsflächen an den in den Voruntersuchungen ermittelten Kontaminationsgradienten unter Einbeziehung vorliegender Beprobungspunktkoordinaten auf Basis von visualisierten GPS-Daten (Wiederfindung der ‚Ausreißer‘ in Bezug auf die Belastungsverteilung). Das zu wählende Design orientiert sich an Beispielen europäischer Erhebungsprogramme und berücksichtigt die aktuelle Normenentwicklung [34].

Zusätzlich wurden die Elementgehalte in der Regenwurmzönose unter Berücksichtigung der Lebensformtypen getrennt für jede Probenamestelle bestimmt. Dies erfolgte mit dem Ziel, zusätzlich Aussagen zur Abhängigkeit von Bodenbelastung und Kupferanreicherung bei einzelnen Lebensformtypen zu gewinnen. Parallel wurden bioverfügbare und Kupfer- Gesamtgehalte sowie bodenkundliche Basisparameter im Labor für jede Teilfläche analysiert. Die Versuchsauswertung erfolgte mit Hilfe statistischer Verfahren zur Trennung der Wirkungursachen.

Das aktuelle Normierungsgeschehen zielt auf ‚ebene‘ ackerbaulich und forstwirtschaftlich genutzte Flächen. Dies ist insofern von Bedeutung, da bei der Austreibung der Tiefengräber eine ebene Fläche vorhanden sein muss. Es war deshalb zu prüfen, wie der Bodenaushub aus der 20 cm tiefen Bodenschicht im Steillagenweinbau unter praktikablen Gesichtspunkten erfolgen kann.

Würde der Bodenaushub parallel zum Hang erfolgen, würde die Austreibungslösung ohne Erreichen des gewünschten Zwecks ablaufen; anözische Arten würden nicht erfasst (Abb. 1, rechts). Deshalb zielte die Erhebung der Regenwurmzönose bei hängigen, nicht terrassierten Flächen auf eine eben freigelegte Aushubfläche ab, wobei in Abhängigkeit der Hangneigung aber unterschiedliche Bodenschichtzusammensetzungen innerhalb des

Beprobungshorizonts von 0 bis 20 cm Bodentiefe erfasst werden. Dies kann sich darin äußern, dass trotz GPS – Einmessung die Kupferdaten aufgrund höherer Gehalte im Bodenoberhorizont und der klein strukturierten Belastungsverteilung der Prüfflächen von denen in den Voruntersuchungen ermittelten abweichen.

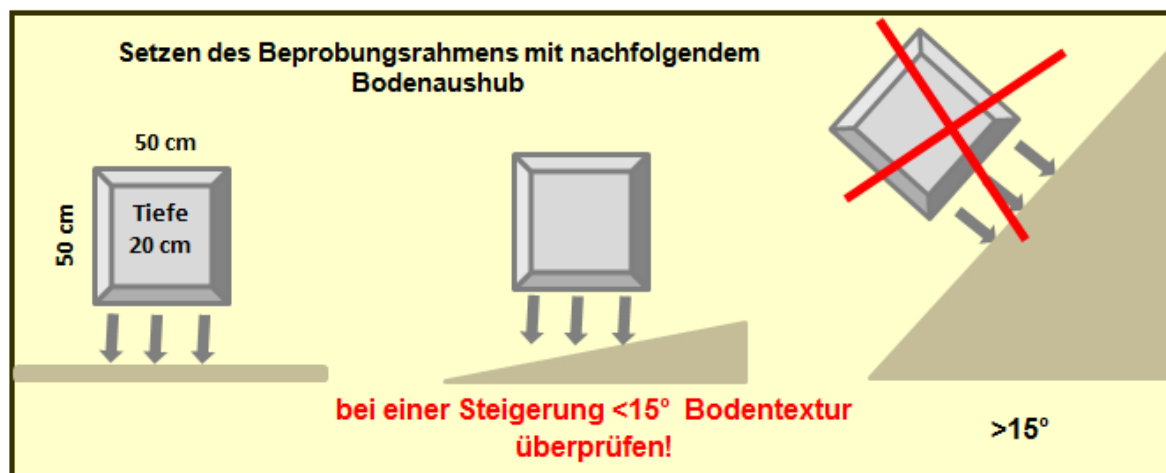


Abb. 1: Bodenaushub bei hängigen, nicht terrassierten Flächen mit Setzen des Beprobungsrahmens für anschließenden Austrieb anösischer Lebensformtypen

Die jahreszeitliche Populationsdynamik (juvenile Stadien vorrangig im Frühjahr, adulte Stadien vorrangig im Herbst) wurde annähernd im Versuchsdesign berücksichtigt, um den Einfluss des Beprobungszeitraums auf Diversität, Abundanz und Biomasse mit abzubilden.

Die Beprobungsflächen können in ihren Kupfer-Gehalten (Verfügbarkeiten) und pedologischer Eigenschaften heterogen sein, weshalb biologische Bestandsaufnahmen nur auf Grundlage der Flächenwerte von bewirtschaftungshistorisch umfassend charakterisierten Beprobungsflächen sinnvoll sind.

Zu Abschnitt A) erfolgten detaillierte Erläuterungen des Zuwendungsempfängers in folgender Publikation:

STRUMPF, T.; STRASSEMAYER, J.; KRÜCK, ST.; HORNEY, P.; HOMMEL, B.; FELGENTREU, D. & HERWIG, N., 2015: Methodische Aspekte bei der Erhebung von Regenwurmlebensgemeinschaften im Qualitätsweinbau. Journal für Kulturpflanzen, **67**, 5-21

B) Risikobewertung für Bodenorganismen

Da Kupfer nicht abgebaut wird, wurde es als ‚persistenter Stoff‘ eingestuft, weshalb Expositionsszenarien ermittelt werden müssen. Dies sind quantitative oder qualitative Abschätzungen des Verhältnisses Dosis zu Konzentration eines Stoffes, welcher gegenüber einem Schutzgut exponiert ist oder sein kann.

Es war zu klären, in wie weit die Kupferbelastungen und die standortspezifischen Expositionen die Artenvielfalt, Abundanz und Biomasse beeinflussen und ob die Bodenfeuchte elementare Voraussetzung für das Auftreten der Lumbriciden zu den Beprobungstermine ist.

„Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

An den meisten Standorten kam die anözische Art *Lumbricus terrestris* im Oktober und mit wenigen Ausnahmen im April vor, gefolgt von Arten der Gattung *Aporrectodea*. Es gibt eine Reihe von Arten, die entweder im April (*Lumbricus castaneus*, *Lumbricus rubellus*) oder Oktober (*Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea rosea*) häufiger anzutreffen sind. Insgesamt ist eine mittlere bis hohe Stetigkeit (über 50 bzw. 70 %) der Arten/-gruppen an den verschiedenen Standorten im Oktober größer als im April (7:5). Für den Vergleich der verschiedenen Flächentypen (Prüf-, Referenz- und Kontrollfläche) wurde der Shannon-Wiener-Index als Maß für die biologische Vielfalt der Regenwurmzönose berechnet. Shannon-Wiener-Indizes < 1,5 finden sich vorrangig auf den Prüf- und Referenzflächen, d.h. von den dort anzutreffenden Arten repräsentieren nur sehr wenige die Gesamtheit der Individuen.

Die Unterschiede zwischen den drei Untersuchungsflächen an den jeweiligen Weinbaustandorten gehen weit über den hier verwendeten Gesamtkupfergehalt hinaus. Der weinbaulichen Nutzung der Prüfflächen stehen oft brachliegende Referenz- und Kontrollflächen gegenüber. Hinzu kommen innerhalb der Weinbaulagen wesentliche Bodenunterschiede, auch sind die topografische Lage und der Bewuchs sehr heterogen. Am geringsten sind noch die Unterschiede zwischen Prüf- und Referenzfläche an einem Standort. Hier sind oft nur die Nutzung und der Bewuchs verschieden.

Unabhängig vom Flächentyp ist zwischen Gesamtkupfer - Bodengehalten und der Artenvielfalt - gemessen am Shannon-Wiener-Index - kein direkter Zusammenhang nachzuweisen. Es gibt den Indiz, dass mit höheren Kupfergehalten die Biodiversität sinkt, aber es wurden auch Prüfflächen mit Gehalten von ~ 200 mg Cu kg⁻¹ Boden (TM) beprobt, die mit einem umfangreichen Arteninventar ausgestattet waren. In der Studie zeigen durchschnittliche Gesamtgehalte bis ~ 130 mg Cu kg⁻¹ Boden (TM) auf den Flächen keine eindeutigen Effekte auf die Artenzusammensetzung der Regenwurmzönosen.

Dass bei steigenden Kupferverfügbarkeiten die Artenanzahl sinkt, konnte ebenfalls nur tendenziell bestätigt werden. Die fehlenden Zusammenhänge zwischen mobilen Gehalten in den gewählten Modellen (CaCl₂-Extrakt und NH₄NO₃-Extrakt) und Artenvielfalt (Shannon-Wiener-Index H) zeigen, dass die Kupfergehalte in keinem direkten Zusammenhang mit der Diversität der Regenwurmpopulationen an den studierten Qualitätsweinstandorten stehen.

Die aufgezeigten Tendenzen zeigen, dass die Stabilität der Regenwurmzönose auf den Flächen multifaktoriell beeinflusst wird. Standortabhängig wirken unterschiedliche Bodeneigenschaften, Bewirtschaftungsmaßnahmen und topographische Parameter auf das Artenspektrum und die Diversität in Lebensgemeinschaften ein und überlagern Kupfer geschuldete Einflüsse.

Zudem erschweren heterogene Belastungsverteilungen auf den langjährig bewirtschafteten Dauerkulturflächen (z.B. [35, 36]) – verbunden mit kleinflächig unterschiedlichen Expositi-

„Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

onsszenarien – und Literaturbefunde, wonach die Wiederbesiedlungsrate kontaminierter Flächen niedrig ist (z.B. [37, 15]), was einem Meidungsverhalten während der Besiedlung zugeschrieben wird, sachgerechte Interpretationen.

Da Artenzahl und Dominanz der Arten von vielen Einzelparametern und deren unterschiedlichem Zusammenspiel abhängen und flächenbezogen variieren, kann über Shannon-Wiener-Indizes kein Schwellenwert zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen eines direkten Einflusses von Kupfer wissenschaftlich begründet werden. Auch deshalb sollte der Shannon-Wiener-Index nicht als Indikator zur Bewertung nachhaltiger Managementstrategien herangezogen werden.

Zusammenfassend muss eingeschätzt werden, dass die Bedingungen für Regenwurmzönosen auf den Prüfflächen - insbesondere die dort stattfindende Bewirtschaftung - ungünstiger im Vergleich zu den Kontrollflächen sind (weniger Arten, viel weniger Individuen). Geringe SW-Indizes deuten darauf hin, dass nur wenige Arten auf den Prüfflächen die Regenwurmzönose dominieren. Die Ursachen für diese Unterschiede sollten im Zusammenspiel mehrerer Faktoren liegen. Einmal kann biologisch verfügbares Kupfer wesentlich dafür sein, ein andermal seine Wirkung - auch bei höheren Gehalten - durch andere Faktoren überlagert oder gemildert werden.

Mit dem erbrachten Nachweis, dass eine inhomogene Belastungsverteilung auf den Untersuchungsflächen keinen Einfluss auf Abundanz und Biomasse der Regenwurmzönose hat, wird den methodischen Vorgaben des „Leitfaden zur Koordinierung der Monitoringaktivitäten der Untersuchungen zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln“ des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) entsprochen.

Zu Abschnitt B) erfolgten detaillierte Erläuterungen des Zuwendungsempfängers in folgender Publikation:

STRUMPF, T.; STRASSEMAYER, J.; KRÜCK, ST.; HORNEY, P.; HOMMEL, B.; FELGENTREU, D. & HERWIG, N., 2015: Methodische Aspekte bei der Erhebung von Regenwurmlebensgemeinschaften im Qualitätsweinbau. Journal für Kulturpflanzen, **67**, 5-21

C) Laborversuche mit Indikatoren der Bodenzönose mit Weinbergböden

In Begleitung dieser arbeitsintensiven Freilandherhebungen werden parallel zur biologischen Charakterisierung der Bodengüte und zur Einschätzung der zu erwartenden Wirkungssituation international genormte Biotests (Meidungs- und Reproduktionsteste) mit Organismen verschiedener trophischer Stufen durchgeführt. Im Ergebnis einer chemischen und biologischen Erhebung in ausgewählten Reblagen, die das Spektrum der Belastungssituation hinsichtlich Exposition und Wirkung in der Kultur Wein abbildet, können die biologischen Labortests mit Bodenproben ausgewählter Standorte einer Einschätzung der zu erwartenden Wirkungssitu-

ation für nachfolgende Freilandhebungen und der Validierung methodischer Vorgaben dienen. Zur standortspezifischen ökotoxikologischen Risikoabschätzung wird zur Befundsicherung ein Triadenansatz empfohlen, die chemische Standortcharakterisierung, die Anwendung von Biotests und ein biologisches Vorort - Monitoring empfohlen, die chemische Standortcharakterisierung, die Anwendung von Biotests und ein biologisches Vorort-Monitoring, die ein gemeinsames Ziel, die Risikoabschätzung eines ausgewählten Schutzzieles, wie z.B. der Bodenfruchtbarkeit und die nachhaltige Nutzung, haben.

Mittels Einbindung standardisierter faunistischer und mikrobiologischer Laborverfahren werden die Untersuchungen zu den Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit in landwirtschaftlich genutzten Sonderkulturböden auf weitere Indikatoren der Bodengüte erweitert. Die Untersuchungsbefunde der Labortests an unterschiedlichen bodenlebenden Indikatororganismen sind eine wichtige Interpretationshilfe für die Bewertung der Freilandergebnisse.

Die Indikatorenversuche wurden ausschließlich mit Standortböden durchgeführt. Damit sichergestellt, dass die die Verfügbarkeiten ‚prägenden Faktoren‘ in den Böden vorhanden sind [38] und zugleich die in der Literatur berichtete Alterung der Rückstände [39] Berücksichtigung findet. Die Bodenauswahl orientierte sich an den während der Erhebung der Regenwurmzönose gewonnen Weinbergböden und den jeweils verfügbaren Daten der chemischen Elementanalysen aus den vorausgegangenen Belastungserhebungen [4]. Sofern die eingesetzten Prüfverfahren Hinweise auf die Bodengüte unter dem Aspekt zu erwartender Beeinträchtigungen durch die gemessenen Kupfergehalte geben sollten, wäre noch zu prüfen, inwieweit diese Daten mit denen der Freilandbeprobung zur Erfassung der Regenwurmzönosen korrelieren [40].

Neben den faunistischen Prüfverfahren wurden auch standardisierte mikrobiologischer Laborverfahren in das Projekt zur repräsentativen Erfassung von Kupfergehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden eingebunden, um deren Auswirkungen auf mikrobielle Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit darzustellen. Bei der Auswahl der Verfahren wurde sich an den Vorgaben aus dem Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln und der Bodenprüfung orientiert. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Eckpunkte dieser Prüfverfahren.

Alle eingesetzten Testsysteme sind Verfahren, die seit längerem im Bereich der Boden- und Abfallprüfung eingesetzt werden und zu diesem Zwecke einem internationalen Normungsverfahren unterzogen wurden oder aus der Pflanzenschutzmittelprüfung stammen. Die Testsysteme dieser Kategorie werden an Organismen durchgeführt, deren Lebensraum eng mit dem Boden verbunden ist.

Tab. 2: Ökotoxikologische Testverfahren mit tierischen Bodenorganismen

Taxonomische Gruppen	Prüforganismus	Prüfprinzip	Versuchsdauer	Status
Oligochaeta, Annelida	Regenwürmer (<i>Eisenia fetida</i> <i>Eisenia andreii</i>)	Vermeidungstest, Schnellverfahren zur Darstellung der Bioverfügbarkeit von Stoffgemischen in belasteten Böden	48 h	DIN ISO 17512-1
		Reproduktionstest in künstlichem (oder belastetem) Boden zur Darstellung subletaler Wirkungen von Stoffgemischen in belasteten Böden	28 d +	DIN ISO 11268-2
		NOEC, ECX	28 d	OECD 222
Collembola Apterigota	Springschwänze Collembolen <i>Folsomia candida</i>	Vermeidungstest, Schnellverfahren zur Darstellung der Bioverfügbarkeit von Stoffgemischen in belasteten Böden	48 h	DIN ISO 17512-2
		Reproduktionstest in künstlichem (oder belastetem) Boden	28 d	DIN ISO 11267
		NOEC, ECx		

Die Prüfung der Lebensraumfunktion erfolgt exemplarisch an pragmatisch ausgewählten Stellvertreterorganismen bzw. charakteristischen mikrobiellen Funktionsparametern. Bei der Auswahl wurde jedoch versucht, verschiedene Kombinationen von trophischer Ebene, besiedeltem Porenraum des Bodens, Lebensraum und Expositionspfad zu berücksichtigen [41]. Das Ziel des Einsatzes dieser biologischen Standardtests liegt nicht darin, abschließend Aussagen zur Wirkung der gemessenen Kupfergehalte zu machen, sondern angesichts der sehr heterogenen Standortparameter der deutschen Weinanbaugebiete zu prüfen, ob anerkannte Verfahren zur Bodenqualitätsprüfung für die Darstellung eines Wirkmusters geeignet sind. Im Rahmen einer Synopse der Einzelergebnisse wurde versucht, ein Gesamtbild zu erstellen und zu interpretieren. Die Herkunft und Heterogenität der Böden macht es aber schwierig, nur die Effekte von Kupfer auf die jeweiligen kurz- oder längerfristigen Endpunkte der Prüfverfahren zu bestimmen.

5.7 Bodenmakroorganismen

Es war zu klären, ob Untersuchungen im Labor mit (gesiebten) Böden aus den Weinbaulagen und dem Standardprüforganismus *Eisenia andreii* geeignet sind, die Feldbeobachtungen zu bestätigen, zu ersetzen oder um zusätzliche Informationen zu generieren.

Reproduktions- und Fluchttests für Regenwürmer (Auswahl an Böden)

Verglichen mit dem Lagerboden zeigen alle geprüften Böden von den Standorten MR_01, RH_11 und RG_03 sowohl für die Gewichtszunahme pro Individuum als auch für die Anzahl

der Nachkommen pro Kohorte signifikant geringere Werte (Abb. 2 – 3). Signifikante Unterschiede zwischen den Standorten in den Weinbaugebieten sind allerdings die Ausnahme. In der Regel führt eine - aufgrund der Bodenqualität - geringere Gewichtszunahme auch zu einer geringeren Anzahl Nachkommen. Die Mortalität der eingesetzten Regenwürmer in allen Varianten lag im Mittel zwischen 0 und 8%.

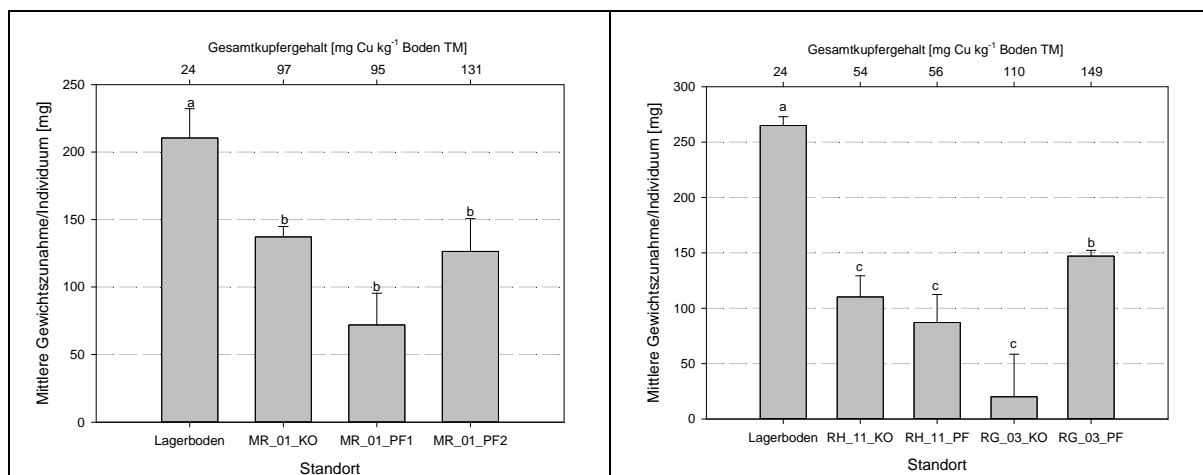


Abb. 2: Mittlere Gewichtszunahme pro Individuum nach **4 Wochen** in Böden der Standorte MR_01, RH_11 und RG_03, gruppiert nach den Prüfgliedern Prüffläche (PF) und Kontrollfläche (KO) sowie einem Vergleichsboden (4 Wiederholungen mit je 10 Tieren). ANOVA mit Student-Newman-Keuls-Test. Gleiche Buchstaben bedeuten kein signifikanter Unterschied, $P < 0,05$)

Bei dem Parameter „Gewichtszunahme pro Individuum“ blieb die Prüffläche (PF) vom Standort RG_03 signifikant über den Werten der Standorte RH_11 (PF und KO) und der eigenen Kontrollfläche (Abb. 2). Dieser Effekt setzt sich besonders ausgeprägt auch bei der Reproduktionsleistung der Tiere fort (Abb. 3). Schließlich konnte auch im Einwanderungs-/Fluchttest bestätigt werden, dass dieser Boden den Tieren weniger stark zusetzt als der Kontrollboden: Von den ausgebrachten Regenwürmern verblieben durchschnittlich etwa 7 (von 10) im Prüfboden (Abb. 4). Diese „positive“ Darstellung steht allerdings im krassen Widerspruch zur natürlichen Besiedlung, da dort eine niedrige Artenanzahl und ein niedriger Shannon-Wiener-Index für die Prüffläche und Bestwerte für die Kontrollfläche charakteristisch sind. Kritisch anzumerken ist deshalb, dass entweder die Art *Eisenia andrei* nur ungenau das Verhalten der standorttypischen Arten abbildet oder wichtige Standortfaktoren für die Regenwurmzönosen im Labortest nicht anzutreffen sind.

Ähnlich ist die Situation bei den beiden Prüfböden aus MR_01 (PF1, PF2): Die im Vergleich zur Kontrollfläche (KO) gute bis sehr gute Reproduktionsleistung (Abb. 3) wird aber durch eine eher geringe Präferenz für den Prüfboden im Einwanderungs-/Fluchtverhalten begleitet (Abb. 4). Die sehr niedrige Reproduktionsleistung der Tiere im Prüfflächenboden von RH_11 (Abb. 3) wird nicht im Einwanderungs-/Fluchtverhalten widerspiegelt (Abb. 4).

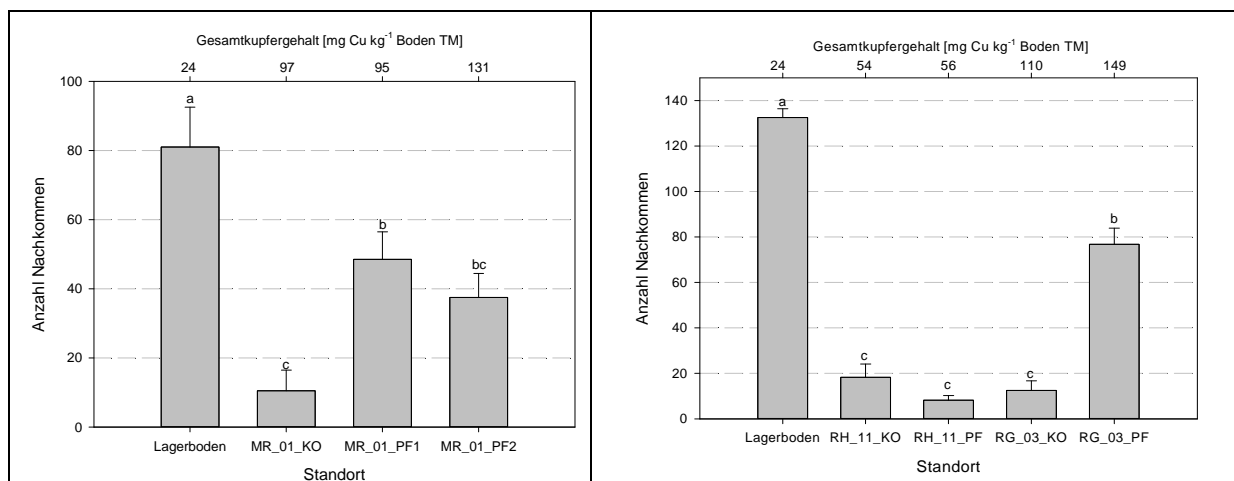


Abb. 3: Mittlere Anzahl Nachkommen der 10er-Kohorte nach **8 Wochen** in Böden des Standortes MR_01, RH_11 und RG_03 gruppiert nach den Prüfgliedern Prüffläche (PF) und Kontrollfläche (KO) und einem Vergleichsboden (4 Wiederholungen mit je 10 Tieren. ANOVA mit Student-Newman-Keuls-Test. Gleiche Buchstaben bedeuten kein signifikanter Unterschied, $P < 0,05$)

Im Einwanderungs-/Fluchttest mit den Standorten NA_01, RH_10 und MR_03 zeigen sich große Unterschiede. Die beiden PF-Böden vom Standort NA_01 werden gegenüber dem Kontrollboden stark bevorzugt. Bei Böden von den Standorten RH_10 und MR_03 ist die Situation umgekehrt.

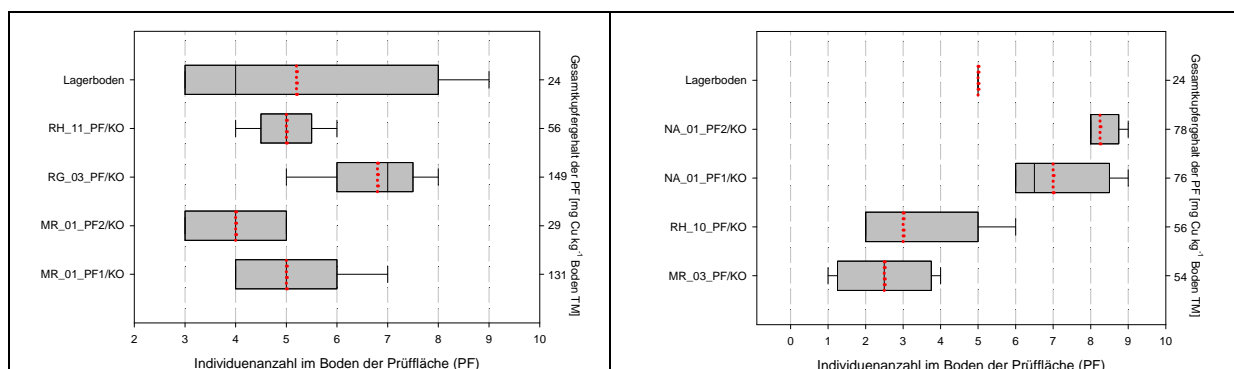


Abb. 4: Einwanderungs-/Fluchttest: Box-Whisker-Plots für die Anzahl der Regenwürmer im Boden der Prüffläche (PF) der Standorte NA_01, RG_03, RH_10, RH_11, MR_01 und MR_03 und in einem Vergleichsboden (5 Wiederholungen mit je 10 Tieren, Versuchsdauer 48 Stunden). Die Whiskers kennzeichnen das 10%- bzw. das 90%-Quantil. Der Median ist durch die schwarze und der Mittelwert durch die rotgestrichelte Linie in der Box symbolisiert.

Auffällig im Einwanderungs-/Fluchttest sind die für den Lagerboden ausgeprägten Verhaltensunterschiede. In der Abb. 4 - links - scheint es perfekt zu stimmen, da über alle Wiederholungen sich die Tiere gleichmäßig in den beiden Hälften der Schalen verteilt haben. In Abb. 4 – rechts -dagegen gibt es große Unterschiede in der Verteilung. Ein Fakt, der - auf den ersten Blick - die Interpretation der Ergebnisse in den Prüfböden erschweren sollte. Aber, wenn bei für Wachstum und Reproduktion gut geeigneten Böden – wie dem Lagerboden - für die Regenwürmer weniger Anlass zur Flucht besteht, dann verteilen sich die Tiere in den Schalen im Rahmen der Einwanderung zufällig. Erst bei Auftreten eines Stressors in

einigen Prüfböden wird durch das Verhalten der Tiere die zufällige Suche nach dem besten Aufenthaltsort durch eine gezielte Flucht modifiziert. Es muss davon ausgegangen werden, dass auch im Freiland das Einwanderungs-/Fluchtverhalten bei Regenwürmern funktioniert, um sich punktuell ändernden Bedingungen kurzfristig oder großflächigen Änderungen langfristig anpassen zu können.

Die Unterschiede in den hier dargestellten Laborergebnissen für Verhalten, Wachstum und Reproduktion bei Regenwürmern können nicht mit den Gesamtkupfergehalten in den Böden der Weinbaustandorte in Zusammenhang gebracht werden. Hier müssen weitere oder andere Faktoren eine Rolle spielen (pH-Wert, organische Substanz, biologisch verfügbares Kupfer, Bodentextur, etc.).

Reproduktionstest für Collembolen (Auswahl an Böden)

Im Reproduktionstest für Collembolen stellen sich die Unterschiede zwischen dem künstlich zusammengesetzten Boden, dem Lagerboden und den Prüfböden aus den Weinbergstandorten nicht so klar dar wie in den Tests mit dem Regenwurm (Abb. 5). Obwohl die Reproduktionsleistung der Collembolen im künstlichen Boden den höchsten absoluten Wert erreichte, blieben nur 2 der 7 Böden signifikant unterhalb der Werte: PF1 von MR_01 und PF von RH_11. Wobei sich die Effekte auf die Reproduktion nicht auch in der Mortalität darstellen. Beide Böden zeigen bereits deutliche Effekte im Regenwurm-Test auf das Wachstum (Abb. 10) bzw. die Reproduktion (Abb. 3).

Die Böden der Prüfflächen der Standorte RG_03 und MR_01 (PF2) heben sich - wie schon im Regenwurmtest (Abb. 3) - positiv von den anderen Böden der Weinbaugebiete ab; und das, obwohl beide Böden mit 149 bzw. 131 mg Cu kg⁻¹ Boden TM die höchsten Gesamtkupfergehalte unter den geprüften Böden aufweisen (Tab. 1)!

Die Mortalität unter den Versuchstieren lag - außer in der Variante „Lagerboden“ - stets über 10 %. Im Kontrollboden des Standortes RH_11 starben fast 50 % der eingebrachten Tiere. Die Ursache dafür ist unbekannt.

Angesichts der beobachteten geringen Trennschärfe insbesondere im Regenwurm-Reproduktionstest sollte bei zukünftigen Tests die Zahl der Wiederholungen in den Kontrollen auf 8 erhöht werden. Weiterhin sollten auch bei den Labortests Proben sogenannter positiver Kontrollen, d.h. Flächen, die zwar eine Kupferbelastung aufweisen, aber nicht mehr bewirtschaftet werden, in das Prüfverfahren einbezogen werden, um die Wirkungsursachen besser voneinander trennen zu können.

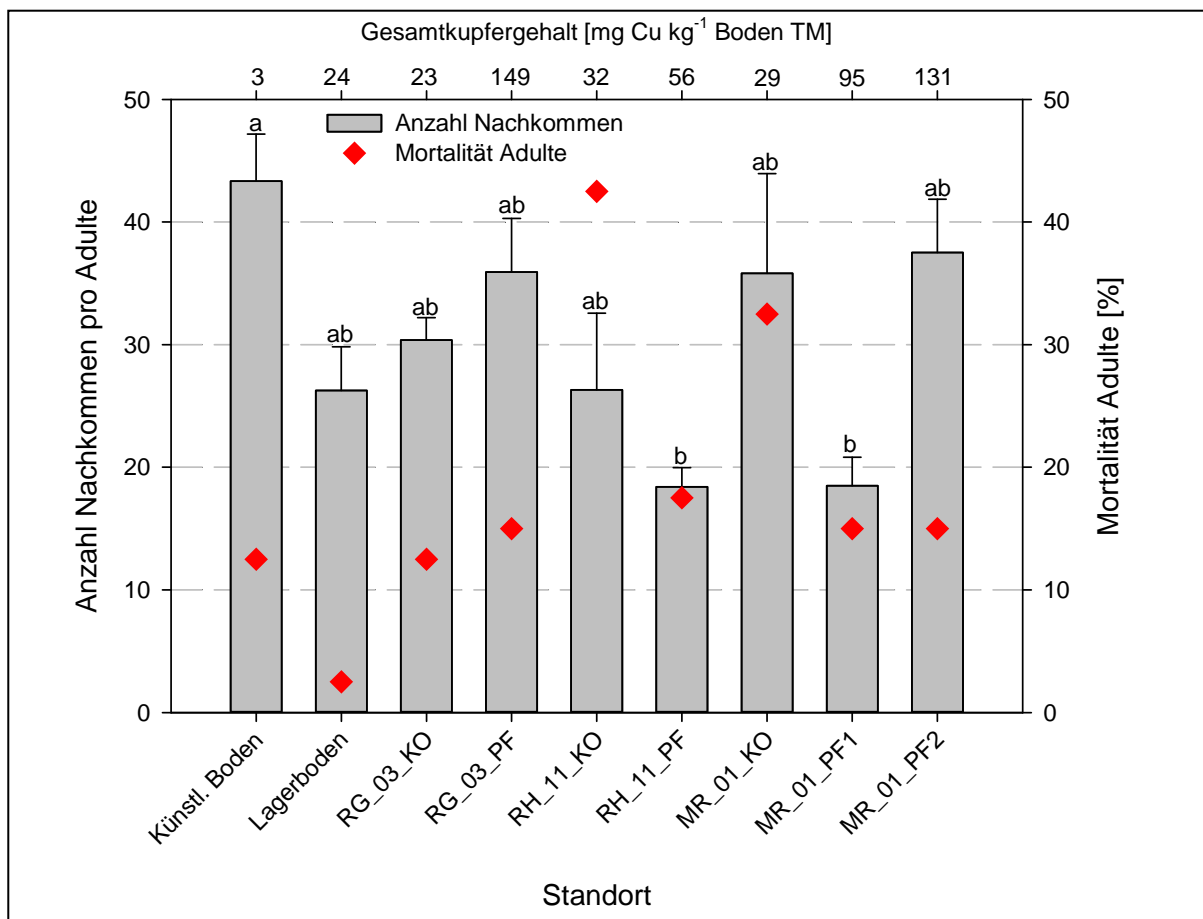


Abb. 5: Mittlere Anzahl der Nachkommen pro Adulte und Mortalität der Adulten nach 4 Wochen (4 Wiederholungen, 10 Tiere pro Ansatz). ANOVA mit Student-Newman-Keuls-Test. Gleiche Buchstaben bedeuten kein signifikanter Unterschied, $P < 0,05$

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kupfergesamtgehalten und Wirkungen wurde bei den Prüfböden der Qualitätsweinbaugebiete nicht beobachtet. Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auf die Regenwurmgesellschaften ist es schwierig die Auswirkungen von Kupfer sowohl im Freiland als auch im Labor separat zu erfassen.

Ein Zusammenhang mit den Gesamtkupfergehalten konnte insgesamt aber nicht ausgemacht werden.

5.8 Bodenmikroorganismen

Neben den faunistischen Prüfverfahren werden auch standardisierte mikrobiologischer Laborverfahren in das Projekt zur repräsentativen Erfassung von Kupfergehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden eingebunden, um deren Auswirkungen auf die mikrobiellen Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit darzustellen.

Tests mit Mikroorganismen

Bei der Auswahl der Verfahren wird sich an den Vorgaben aus dem Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln und der Bodenprüfung orientiert. Dabei sollten mindestens jeweils Parameter aus dem Bereich der C-Mineralisation und der N-Transformation geprüft werden.

Untersucht wurde der Einfluss von Kupfer auf die Dehydrogenaseaktivität [32], Basal- und Kurzzeitatmung [42] und potentielle Nitrifizierung [33]. Über erste Ergebnisse wurde kürzlich berichtet [43].

Tab. 3: Berechnete mikrobielle Aktivitätsparameter in Böden von Prüf- (PF), Referenz-(RF) und Kontrollflächen (KO) von 10 Weinbaubetrieben in unterschiedlichen Qualitätsweingebieten (Mittelrhein, Nahe, Rheinhessen und Rheingau)

Prüfglied	Code	Extraktionsverfahren			Dehydrogenaseaktivität	Basal-atmung	Kurzzeit-atmung	potentielle Nitrifizierung
		KW	NH ₄ NO ₃ -Extrakt	CaCl ₂ -Extrakt				
		[mg Cu/kg Boden TM]						
KO	MR_01	29	0,02	0,07	2,90 ±0,47	1,77 ±0,3	6,87 ±0,7	0,25 ±6,5
RF		97	0,24	0,09	2,54 ±0,74	1,45 ±0,3	7,00 ±1,1	75,02 ±11,7
PF_1		95	0,21	0,13	2,57 ±0,73	1,35 ±0,7	3,01 ±1,1	95,08 ±23,7
PF_2		131	0,11	0,22	4,95 ±0,10	0,91 ±0,2	3,98 ±0,5	96,91 ±4,6
KO	MR_03	34	0,06	0,06	18,84 ±1,24	1,48 ±0,2	6,33 ±1,1	63,60 ±12,4
RF		40	0,09	0,03	24,43 ±1,60	1,96 ±0,4	9,18 ±0,9	33,06 ±16,1
PF		54	0,14	0,06	14,73 ±1,03	1,15 ±0,2	5,93 ±0,6	215,62 ±18,3
KO	NA_01	28	0,04	0,02	24,78 ±0,94	1,29 ±0,2	9,65 ±1,7	240,37 ±25,9
RF		43	0,10	0,09	8,61 ±0,50	1,55 ±0,5	6,17 ±3,6	208,77 ±71,9
PF_1		76	0,21	0,25	14,55 ±0,74	1,12 ±0,1	5,82 ±0,8	147,45 ±13,4
PF_2		77	0,24	0,23	12,11 ±0,85	1,82 ±0,1	7,52 ±0,7	151,13 ±17,06
KO	RH_10	32	0,07	0,04	5,04 ±0,47	1,78 ±0,1	8,81 ±1,6	178,92 ±11,9
RF		109	0,50	0,25	13,75 ±0,89	1,77 ±0,3	7,18 ±0,6	410,52 ±48,4
PF		55	0,12	0,07	8,62 ±0,78	1,05 ±0,4	6,86 ±0,8	314,22 ±18,3
KO	RH_11	32	0,15	0,15	3,05 ±0,29	2,04 ±0,5	2,79 ±0,4	142,20 ±5,7
RF		54	0,22	0,22	3,11 ±0,43	1,81 ±0,2	6,25 ±1,2	45,19 ±0,4
PF		56	0,22	0,18	2,34 ±0,42	1,26 ±0,3	4,98 ±2,4	236,65 ±4,4
KO	RG_03	23	0,08	0,05	1,93 ±0,25	1,90 ±0,2	6,08 ±1,8	104,56 ±33
RF		110	0,26	0,16	1,99 ±0,28	1,69 ±0,4	4,94 ±0,8	16,72 ±0,4
PF		149	0,32	0,23	2,50 ±0,44	1,56 ±0,3	6,64 ±0,6	34,44 ±0,1

Wie auch bei den vorangegangenen Untersuchungen kann ein direkter Zusammenhang zwischen Höhe des Gehaltes an Gesamtkupfer in den Böden und eine Wirkung auf die Aktivität der Bodenmikroorganismen nicht aufgezeigt werden. Die mikrobiellen Aktivitätsparameter scheinen von Kupfer nicht in erkennbarer Weise beeinflusst zu sein. Dies könnte daran liegen, dass eine zum Teil über Jahr- „Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

zehnte adaptierte Mikroflora keine verallgemeinerungsfähige Aussage zum Risiko Cu-haltiger PSM für Bodenmikroorganismen ermöglichen – die Ansiedlung kupfertoleranter Mikros führt zu keiner Reduzierung der Bodenfruchtbarkeit. Trotzdem scheinen weitere Untersuchungen sinnvoll. Die Anwendung von molekularbiologischen Methoden, die eine Aussage zu Veränderungen der Struktur und Anpassung (Toleranz, Resistenz?) der Bodenmikroorganismen zulassen würde, sollten bei zukünftigen Untersuchungen ebenfalls beachtet werden.

Methodisch hat es sich als problematisch erwiesen, dass die am Standort zur Verfügung stehenden Kontrollflächen häufig nicht mit den in Nutzung stehenden Prüfflächen vergleichbar sind, was die sonstigen Bodeneigenschaften angeht, sodass die Vergleiche zwischen den Proben der Prüf- und Kontrollfläche nicht sehr aussagekräftig sind. Dieses Ergebnis ist bei der Kontrollflächenauswahl im Hinblick auf Freilandbeprobungen zu berücksichtigen.

D) Gesamt- und bioverfügbare Kupferbodengehalte

In den Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Zusammenhang zwischen mobilem Kupfer und den Kupfergesamtgehalten von mehreren Einflussgrößen abhängt. Diese multifaktoriellen Abhängigkeiten werden oft noch vom Alter der Rückstände (Bewirtschaftungsdauer) überlagert, weil Kupfer (II) einem Alterungsprozess [39] und Sequestrierung sowie Leaching unterliegt. Langjährig bewirtschaftete Dauerkulturflächen weisen zudem oft heterogene Belastungsverteilungen auf (z.B. [4, 35]). Deshalb erfordert die Darstellung eingetretener Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenzönose eine standortbezogene Methodvalidierung. Die Summe aller Einzeleinflussfaktoren (Bodenparameter, Bewirtschaftungsdauer und -management, Klima, Alterung) führt zu **standortbezogenen Kupferverfügbarkeiten**, welche sich in konkreten Kupfergehalten in unterschiedlichen Modellextrakten ausdrücken.

Mit dem Quotienten aus Kupfergehalt in den gesammelten Regenwürmern und Bodengesamt- und/oder Modellextraktgehalt wurden Biokonzentrationsfaktoren (BCF's) berechnet, die artabhängig Aufschluss über die Verfügbarkeit, Aufnahme und Ausscheidung des Kupfers geben. Unter Einbeziehung von 24 Qualitätsweinbaubetrieben mit 78 Beprobungsflächen (Prüf-, Referenz- und Kontrollflächen) wurde das **Kupferanreicherungsverhalten in Regenwürmern** als Risikomaß für die Bodenzönose bewertet. Bei Verwendung eines die Verfügbarkeit beschreibenden Extrakt-Modells wird die enorme Standortvielfalt berücksichtigt und zugleich eine standortbezogene Risikobewertung von Exposition und eingetretenen Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenzönose ermöglicht.

Die Toxizität von Cu^{2+} gegenüber Bodenorganismen unterscheidet sich bei Böden mit frisch zugefügtem Kupfer und bei langjährig kontaminierten Freilandböden deutlich (z.B. [44, 45, 46, 47]). Im Laufe der Zeit führen Festlegungsprozesse des Kupfers zu einem ‚Verfügbarkeitsdefizit‘, welches sich expositionsseitig direkt auf die Kupferverfügbarkeit auswirkt, z.B. [48]. Der Alterungseffekt („**Leaching - Alterungsfaktor**“ –(L/A-Faktor) erschwert die Übertragung von Schwellenwerten aus Laborversuchen auf Freilandbedingungen im Sinne einer Risikobetrachtung erheblich. Zur Prognose von Konzentrationen, bis zu der sich keine Auswirkungen auf die Umwelt zeigen (PNECs), wird noch ein Korrekturfaktor benötigt, der diese Akkumulation in einem Regressionsansatz neben den bioverfügbaren Anteilen bei der Berechnung gesondert berücksichtigt. Für eine sachgerechte Abbildung von ‚worst case‘ Sze-

narien ist die Höhe dieses Korrekturfaktors von entscheidender Bedeutung. Der in dieser Studie auf Grundlage von BCF's in Lumbriciden ermittelte Korrekturfaktor basiert auf Daten, die auf Feldflächen des Qualitätsweinbaus in Deutschland ermittelt wurden und berücksichtigt dementsprechend standortspezifische Einflussgrößen, welche reale Expositionsszenarien widerspiegeln.

Um reale Expositionen und die damit verbundenen Auswirkungen gegenüber wichtigen Indikatoren der Bodengüte realistisch abbilden zu können, müssen für die Expositionsabschätzung Daten mit gealterten Freilandböden ausgewertet werden. Da die Verfügbarkeit in direktem Zusammenhang mit den Auswirkungen auf die Bodenzönose steht, ist sie ein ‚Schlüsselement‘ für Risiko-Nutzen-Abschätzungen.

Zu diesem Abschnitt erfolgten detaillierte Erläuterungen des Zuwendungsempfängers in folgenden Publikationen:

STRUMPF, T., STRASSEMAYER, J., KRÜCK, ST., STENDEL, U., 2013: Modellierung zu erwartender Kupfergehalte in Regenwurmzönosen mit Modellextrakten von Böden auf langjährig bewirtschafteten Weinbaustandorten; eine Bewertung von NH_4NO_3 - und CaCl_2 -Extrakten. Journal für Kulturpflanzen **65**, 479–487

STRUMPF, T.; STRASSEMAYER, J.; HORNEY, P.; HERWIG, N. & STENDEL, U., 2015: Kupferverfügbarkeiten in Sonderkulturen – eine einfache Erstabschätzung des Leaching – Alterungsfaktors am Beispiel Qualitätsweinbau. Journal für Kulturpflanzen **67**(1), 22-31

6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse
Kupferverbindungen sind für eine Verwendung als Fungizid und Bakterizid in Anhang II der Verordnung (EU) Nr. 85/2014 [9] zur Durchführung der Verordnung (EG Nr. 1107/2009) des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Liste zugelassener Wirkstoffe aufgeführt. Die Befristung der Zulassung endet am 31. Januar 2018 [9]. Die EU-Kommission wird auf der Grundlage der von den Mitgliedsländern bereitgestellten aktuellen Ergebnisse abschließend über die Aufnahme von Kupfer in die VO 1107/2009/EG entscheiden, wovon die Verfügbarkeit von Kupfer als chemisches Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft nach dem Jahr 2018 abhängen wird.

Die Beendigung der Möglichkeit, kupferhaltige Pflanzenschutzmittel anzuwenden, würde insbesondere den Ökologischen Landbau empfindlich treffen, da Cu^{2+} der einzige Wirkstoff gegen pilzliche Schaderreger im Ökolandbau und zugleich ein wichtiger Baustein für das Resistenzmanagement im konventionellen Pflanzenschutz ist. Diese Befristung und die kritische Bewertung der Auswirkungen von Kupfer auf wichtige Glieder der Bodenzönose einschließlich Wirbeltieren im Zulassungsverfahren und gegensätzlichen Beobachtungen bei Feldbegehungen erfordern aktuelle agrarwissenschaftliche Studien. Dem Bedarf an aktuellen Freilanddaten zur Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft und zur fachlich fundierten Erfassung biologischer Parameter in wichtigen Anwendungsbereichen für die Zulassungsbehörde für Pflanzenschutzmittel (BVL) und die Einvernehmensbehörde für den Umweltbereich (UBA) wird in der vorgelegten Studie entsprochen.

Unabhängig vom Fortschreiben der Zulassung Cu-haltiger PSM (ggf. mit Auflagen) nach 2018 kann unter Einbindung der aktuell erhobenen biologischen Zustandsdaten eine Klärung des Umgangs mit Cu-belasteten Sonderkulturböden im Ergebnis der Etablierung eines Bewertungssystems für Böden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie erfolgen.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Erläuterung: (+) geplante Ziele erfüllt, (++) zusätzliche Ergebnisse

(+) Validierung des Methodeninstrumentariums für biologische Bestandsaufnahmen bei landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen kupferhaltiger PSM

Es galt das Methodeninstrumentarium des „**Leitfaden** zur Koordinierung der Monitoringaktivitäten der Untersuchungen zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln“ des BVL unter Berücksichtigung der Standortvielfalt weiter zu entwickeln. Mit der aktuellen biologischen Zustandserhebung an 16 Qualitätsweinbaustandorten wurden die methodischen Vorgaben auf Konsistenz geprüft.

(+) Ableitung methodischer Vorgaben für längerfristige Beobachtungen der Auswirkungen von kupferhaltigen PSM auf Indikatororganismen bei nachhaltiger landwirtschaftlicher Nutzung

Ein Ziel der Untersuchungen war die Ableitung **methodischer Vorgaben für längerfristige Beobachtungen** der Auswirkungen von kupferhaltigen PSM unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatororganismen über Gesamtabundanz und Abundanzverteilungen bei nachhaltiger landwirtschaftlicher Nutzung.

Die unterschiedliche Lebensweise der Lebensformtypen der Regenwurmzönose und die unterschiedliche Exposition der epigäischen, endogäischen und anözischen Arten erfordert differenzierte Bewertungsszenarien für jeden Lebensformtyp auch in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeit. Standardisierte Tests mit Weinbergböden im Labor sind keine Alternative zu den Felderhebungen. Sie sind im Rahmen eines Monitoring nicht notwendig.

(+) Aussagen zu Anpassungseffekten von Indikatorarten an Kupfergehalte im Boden

Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren auf die Regenwurmgesellschaften ist es schwierig die Auswirkungen von Kupfer sowohl im Freiland als auch im Labor separat zu erfassen. Die aufgezeigten Tendenzen zeigen, dass die Stabilität der Regenwurmzönose auf den Flächen multifaktoriell beeinflusst wird. Standortabhängig wirken unterschiedliche Bodeneigenschaften, Bewirtschaftungsmaßnahmen und topographische Parameter auf das Artenspektrum und die Diversität in Lebensgemeinschaften ein und überlagern Kupfer geschuldete Einflüsse.

Inhomogene Belastungsverteilungen von Kupfer im Boden führen zu einer Strukturierung bioverfügbarer Kupferkonzentrationen und ermöglichen den Regenwürmern, unabhängig vom Lebensformtyp, Nischen aufzusuchen, die eine Tolerierung oder Vermeidung hoher Kupfergesamtgehalte gestattet. Bei höheren Belastungen [100 bis ~ 250 mg Cu kg⁻¹ Boden (TM)] scheinen Anpassungseffekte - wie z.B. Auswanderung in weniger belastete Flächen, Anwesenheit spezifischer Transportmechanismen von Metallen durch Zellmembranen, Kupferausschleusung in Abhängigkeit der Art und/oder Entgiftung über unter Stress gebildete Peptide (Metallothionine) - das Überleben einzelner Arten zu ermöglichen.

(+) Aussagen zum Einfluss von standortbezogenen Faktoren, Bewirtschaftungsweise, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmanagement auf bioverfügbare Kupfergehalte

Da Kupfer nicht abgebaut wird, wurde es als ‚persistenter Stoff‘ eingestuft, so dass Expositionsszenarien ermittelt werden müssen. In den letzten Jahren durchgeführte Untersuchungen zu Verbleib, Verhalten und Exposition sowie zu Auswirkungen Cu-haltiger PSM zeigten, dass säurebasierte Bodengehalte Cu_{ges} in keinem direkten Zusammenhang mit den für die Auswirkung auf Bodenorganismen verantwortlichen verfügbaren Anteilen stehen.

Das Zusammenspiel einer Vielzahl von Einflussfaktoren (Bodenparameter, Bewirtschaftungsdauer und -management, Klima, Alterung) und deren **standortspezifische Wirkungsprägung** auf die schutzzielbezogene Kupferverfügbarkeit und die oft heterogene Belastungsverteilung auf diesen, erfordert für eine realistische Abbildung eingetretener Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenzönose eine standortbezogene Methodvalidierung.

(++) Prognose des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen bei Weinbaustandortböden

Die Summe aller Einzeleinflussfaktoren führt zu **standortbezogenen Kupferverfügbarkeiten**, welche sich in konkreten Kupfergehalten in unterschiedlichen Modellextrakten ausdrücken. Die Kupferverfügbarkeit steht in direktem Zusammenhang mit den Auswirkungen auf die Bodenzönose und ist damit ein ‚Schlüsselement‘ bei den Risiko-Nutzen-Bewertungen durch die Zulassungsbehörden.

Mittels Verknüpfung bioverfügbarer Kupferanteile in normierten Bodenextrakten ($Cu_{Extrakt}$) mit berechneten Biokonzentrationsfaktoren - als Maß für den Transfer des Kupfers vom Boden in die Bodenorganismen (Pfad Boden/Bodenorganismus) – wurde das Kupferanreicherungsverhalten in Regenwurmzönosen bewertet. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen und des hohen Bestimmtheitsmaßes wird vorgeschlagen, die Risiken für Bodenorganismen künftig unter Verwendung des NH_4NO_3 -Extrakts zu beschreiben. Die Verfügbarkeit von Kupfer und anderen Schwermetallen an/in Sonderkulturstandorten sollte zukünftig in **bodenschutzrechtlichen Vorgaben** integriert werden.

(+) Prüfung der Ableitbarkeit von Schwellenwerten für Indikatorarten

Um der enormen Standortvielfalt bei langjährig bewirtschafteten Dauerkulturflächen gerecht zu werden, müssen Expositionsabschätzungen sowie die Bewertung der Auswirkungen von Cu-haltigen PSM auf Bodenzönosen standortbezogen durchgeführt werden.

Über die Etablierung eines Vorsorgewertes - der mit hohem Sicherheitsfaktor ‚worst case‘ Expositionsszenarien berücksichtigt, können Risiken auf die Bodenzönose unter Verwendung des verfügbaren Kupferanteiles in einem Modell-Extrakts bewertet werden. So wird die enorme Standortvielfalt berücksichtigt und zugleich eine standortbezogene Risikobewertung von Exposition und eingetretenen Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenzönose ermöglicht.

Die Höhe dieses **Vorsorgewertes für den Pfad Boden/Bodenorganismen**, bis zu welchem keine unerwünschten Auswirkungen auf die Bodenzönose bei künftiger Anwendung Cu-haltiger PSM nach 2018 auftreten, bedarf noch einer ökotoxikologischen Begründung.

(++) Erstabschätzung des Alterungsfaktors

Die Toxizität von Kupfer gegenüber Bodenorganismen unterscheidet sich bei Böden mit frisch zugefügtem Kupfer und bei langjährig kontaminierten Freilandböden deutlich. Im Laufe der Zeit unterliegt

Kupfer Festlegungsprozessen, Sequestrierung und Leaching, die zu einer ‚Alterung‘ des Kupfers führen und sich expositionsseitig in einem ‚Verfügbarkeitsdefizit‘ ausdrücken.

Zur Prognose von Konzentrationen, bis zu der sich keine Auswirkungen auf die Umwelt zeigen (PNECs), wird noch ein **Korrekturfaktor** (‚Leaching - Alterungsfaktor‘ - L/A-Faktor) benötigt, der diese Akkumulation in einem Regressionsansatz neben den bioverfügbaren Anteilen bei der Berechnung gesondert berücksichtigt. Für eine sachgerechte Abbildung von ‚worst case‘ Szenarien ist die Höhe dieses Korrekturfaktors von entscheidender Bedeutung. Auf der Grundlage bisher durchgeführter Freilanduntersuchungen der Regenwurmzönose im Qualitätsweinanbau wurde die Höhe des L/A-Faktors abgeleitet.

(+) Beitrag zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktion als Grundlage für die Beratung von Behörden und der Betriebe des konventionellen wie ökologischen Anbaus

Das Projekt war auch Voraussetzung für die Planung und Durchführung einer **Langzeiterhebung** zur ‚Erarbeitung aktueller Daten zu den Auswirkungen der Kupfergehalte in Böden im ökologischen Weinbau‘ auf das Bodenleben im Sinne des ‚**Strategiepapiers** zum Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus‘ [12], das entwicklungsdynamische Gesichtspunkte berücksichtigt.

Weiterführende Fragestellungen zu der vom BMEL getragenen Forschung zu den Umweltauswirkungen bei der Anwendung von Kupfer in den Qualitätsweinanbaugebieten sind unter **Erfolgskontrollbericht** (II Anhänge zum Schlussbericht - unter Punkt 6) zusammengefasst (S. 40 ff.)

8. Zusammenfassung

Eine Validierung der „Hinweise zur Umsetzung der Monitoringaktivitäten zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln“ des BVL – Stand 26.04.2010 - ergab, dass das Methodeninstrumentarium für biologische Bestandsaufnahmen der Untersuchungsflächen grundsätzlich geeignet ist, die Auswirkungen langjähriger Anwendung Cu-haltiger PSM auf Regenwurmzönosen zu erfassen.

Bei identifizierten, repräsentativen Dauerkulturstandorten ist der aus biologischen Stuserhebungen gewonnene Datenpool nur unter Einbeziehung weiterer Daten zur Bewirtschaftungshistorie und aktuellem Bewirtschaftungsmanagement ganzheitlich interpretierbar. Für den Steillagenbau sind die Normierungsvorschriften in Bezug auf Probenahme und Regenwurmextraktion noch zu ergänzen.

Mit den Erhebungszeiträumen wird die jahreszeitliche Populationsdynamik annähernd im Versuchsdesign berücksichtigt (juvenile Stadien vorrangig im Frühjahr, adulte Stadien vorrangig im Herbst). Die klimatischen Bedingungen sind jedes Jahr an jedem Standort unterschiedlich und könnten Kupferbelastungen geschuldete Einflüsse auf Abundanz und Abundanzverteilung überlagern. Wenn der Stichprobenumfang groß genug ist, dürften diese Einflüsse auf die Regenwurmzönose nivelliert werden.

Die Verfügbarkeit steht in direktem Zusammenhang mit den Auswirkungen auf die Bodenzönose und ist damit elementar für anstehende Risiko-Nutzen-Abschätzungen durch die Zulassungsbehörden. Etwa 15 Einzeleinflussfaktoren können auf die schutzzielbezogene Kupferverfügbarkeit bei Standortböden einwirken, von denen Gesamtkupfergehalt, Korngröße (Ton-, Lehm-, Schluffanteil), Kationen-

austauschkapazität, pH-Wert, organische Substanz und Bewirtschaftungsart (Bodenbearbeitung, Begrünung) prägende Bedeutung zukommt.

Das Zusammenspiel einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst die Kupferverfügbarkeiten, was sich in standortspezifischen Auswirkungen auf die Zusammensetzung und die Abundanz der einzelnen Arten innerhalb der Indikator-Lebensgemeinschaft Regenwurm ausdrückt [15]. Da langjährig bewirtschaftete Dauerkulturflächen oft heterogene Belastungsverteilungen aufweisen, erfordert die Darstellung eingetretener Wirkungen von Kupferbelastungen auf die Bodenzönose ein standortangepasstes Methodeninstrumentarium, um unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren über Gesamtabundanzen und Abundanzverteilungen auf Lebensformtypen die Feldbedingungen realistisch abbilden zu können. Unabhängig davon ist noch zu prüfen, ob eine Probe an einem Punkt ausreicht, um hier statistisch abgesicherte Aussagen treffen zu können, da Regenwürmer ‚geklumpt‘ auftreten können [49].

Prüf- und Referenzflächen zeigen gegenüber den Kontrollflächen an den jeweiligen Standorten oft ein geringeres Arteninventar und eine ungleiche Verteilung der Artenabundanz für Regenwürmer. Als Ursachenkomplex wurde eine Vielzahl von standort- und nutzungsspezifischen Faktoren identifiziert, darunter die (historische) Anreicherung von Kupfer im Boden.

In Ergänzung methodischer Vorgaben für längerfristige Beobachtungen der Auswirkungen von kupferhaltigen PSM auf Indikatororganismen muss noch der Frage nachgegangen werden, ob und wenn ja, welche Regenwurmart bei Flächen mit inhomogenen Belastungssituationen in weniger belastete Teilflächen einwandern. So könnte z.B. Meidungsverhalten dazu führen, dass im Ergebnis die Bodenfruchtbarkeit von belasteten Flächen bei nachhaltiger landwirtschaftlicher Nutzung nicht beeinflusst wird (weil sich Bodenorganismen den realen Standortbedingungen anpassen können).

Auf der Grundlage der aus den Belastungserhebungen gewonnenen Erkenntnisse wurden mit einem neuen Versuchsdesign zusätzlich Anpassungseffekten von Indikatorarten an Kupfergehalte im Boden erfasst. Es wurde geprüft, ob eine Bodenanreicherung (Kupfergesamtgehalte) mit einer (unbegrenzten) Anreicherung in Lumbriciden einhergeht. Da Kupfer ein essentieller Bestandteil des Naturhaushaltes ist (z.B. [50]), könnten Mitglieder der Bodenzönose Mechanismen zur ‚bedarfsorientierten‘ Aufnahme, Ausschleusung oder Detoxifikation (z.B. Entgiftung über unter Stress gebildete Peptide - Metallothionine) über evolutionäre Anpassungen entwickelt haben. Dies ist für anstehende Risikobetrachtungen der Auswirkungen von Kupfer auf Bodenlebewesen von Bedeutung, da trotz erwiesener Bodenbelastungen Anpassungseffekte der Lumbriciden nicht ausgeschlossen werden können.

Im Vorfeld von Zulassungsentscheidungen ist den Zulassungsbehörden Datenmaterial über die Ursachen und Auswirkungen von Kupferfestlegungen durch chemische Alterungsprozesse auf langjährig bewirtschafteten Sonderkulturflächen bereit zu stellen. Der in dieser Studie im Königswasser - Extrakt ermittelte L/A- Faktor liegt bei den in Bewirtschaftung befindlichen Rebflächen knapp unter der Größenordnung des von der EFSA akzeptierten und von der AGES vorgeschlagenen L/A-Faktors von 2.

Unter Verwendung der Modellextrakte für regenwurmverfügbares Kupfers ($\text{Cu}_{\text{CaCl}_2}$) und pflanzenverfügbares Kupfers ($\text{Cu}_{\text{NH}_4\text{NO}_3}$) wurden unterschiedliche Korrekturfaktoren berechnet. Um validierte Entscheidungshilfen für die Zulassungsbehörden hinsichtlich der Berechnung realistischer Bodenkonzen-

trationen im Rahmen der confirmatory data im EU Bewertungsprozesse zu erarbeiten, müssen noch weitere Daten auf Basis der Bioverfügbarkeit erhoben werden.

Das hohe Bestimmtheitsmaß $R^2 \sim 0,83$ beim NH_4NO_3 - Extrakt, welches bei der Korrelation von Kupfergehalten im Bodenextrakt mit Biokonzentrationsfaktoren der Regenwurmzönose erreicht wird, zeigt, dass die Risiken auf die Bodenzönose am besten unter Verwendung dieses Extrakts bewertet werden können. So werden die enorme Standortvielfalt und die unterschiedlichen Parameter, welche die Bioverfügbarkeit von Kupfer beeinflussen, berücksichtigt und zugleich standortbezogene Risikobewertungen ermöglicht.

Mit dem aus den bisherigen Studien resultierendem Wissensfortschritt zu Verbleib, Verhalten und Exposition kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in Sonderkulturböden und ihren Auswirkungen auf die Bodenqualität wird vorgeschlagen, Nutzen-Risiko-Bewertungen auf der Grundlage von Vorsorgewerten im NH_4NO_3 -Extrakt für den Pfad Boden/Bodenorganismen in den EU Bewertungsprozess einzuführen.

Die Validierung von Datenbanksystemen mit Freilanddaten und deren Visualisierung (GIS-basierte räumliche Verknüpfung von bewirtschaftungsrelevanten, pedologischen, biologischen und Klimadaten mit Bodenkarten) dient dem Ziel, das von Anwendungen Cu-haltiger PSM ausgehende Risiko auf den Zielflächen unter realitätsnahen Gegebenheiten abzuschätzen.

9. Literaturverzeichnis

- [1] BERGER, E., DERSCH, G., DELLANTONIO, A., DUBOC, O., MANNER, K., MÖBES-HANSEN, B., STEMMER, M., 2012: Kupfer als Pflanzenschutzmittel – Strategie für einen nachhaltigen und umweltschonenden Einsatz. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Nr. 100537 im Auftrag von BMLFUW und den 9 österreichischen Bundesländern. AGES, Wien [online im Internet, URL: [htSP://www.ages.at/uploads/media/Abschlussbericht_CuCSM_2012_approbiert_01.pdf](http://www.ages.at/uploads/media/Abschlussbericht_CuCSM_2012_approbiert_01.pdf)]
- [2] EG RL, 2009: Richtlinie der Kommission 2009/37/EG vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG des Rates zwecks Aufnahme der Wirkstoffe Chlormequat, Kupferverbindungen, Propaquizafop, Quizalofop-P, Teflubenzuron und Zeta-Cypermethrin. ABl. L 104 vom 24.04.2009, S. 23; Anhang S. 27/28.
(http://kupfer.iki.bund.de/dokumente/upload/e8cec_2009_37_eg_vom_23_april_2009.pdf) (Stand: 28.08.2014)
- [3] Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates vom 21. Oktober 2009 (Abl. EU L 309 S. 1)
- [4] STRUMPF, T., STEINDL, A., STRASSEMAYER, J. & RIEPERT, F., 2011: Erfassung des Kupfergehaltes landwirtschaftlich genutzter Böden von Sonderkulturen in Deutschland – Stand, Fazit, Ausblick. Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 1: - Gesamtgehalte in Weinbergsböden deutscher Qualitätsanbaubetriebe. Journal für Kulturpflanzen, **63** (5), 131–143
- [5] STRUMPF, T., ENGELHARD, B., WEIHRAUCH, F., RIEPERT, F. & STEINDL, A., 2011: Erfassung des Kupfergehaltes landwirtschaftlich genutzter Böden von Sonderkulturen in Deutschland – Stand, Fazit, Ausblick. Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 2: - Gesamtgehalte in Böden deutscher Hopfenanbaubetriebe. Journal für Kulturpflanzen, **63** (5), 144–155
- [6] STRUMPF, T., STRASSEMAYER, J., KIENZLE, J., PALM, G., KLOPP, K., ENGEL, A., RÖVEKAMP, H.-L., MÜLLER, S., BALMER, M., ZIMMER, J., FELGENTREU, D., 2012: Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 4: – Gesamtgehalte in Böden deutscher Baumobstbaubetriebe. Journal für Kulturpflanzen, **64** (12), 439–451
- [7] STEINDL, A., STRUMPF, T. & RIEPERT, F., 2011: Erfassung des Kupfergehaltes landwirtschaftlich genutzter Böden von Sonderkulturen in Deutschland – Stand, Fazit, Ausblick. Bioverfügbare Kupfergehalte in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden deutscher Wein- und Hopfenanbaubetriebe. Teil 3: - Bestimmung des pflanzenverfügbaren Anteils Kupfer- und anderer Schwermetallgehalte durch NH_4NO_3 -Extraktion. Journal für Kulturpflanzen, **63** (5), 156–166
- [8] STRUMPF, T. & STRASSEMAYER, J., 2012: Bioverfügbare Kupfergehalte in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden deutscher Wein-, Hopfen- und Baumobstbaubetriebe. Teil 5: – Bestimmung des bioverfügbaren Anteils von Kupfer und anderen Schwermetallen durch CaCl_2 -Extraktion. Journal für Kulturpflanzen, **64** (12), 452–468
- [9] Durchführungsverordnung (EU) Nr. 85/2014 der Kommission vom 30. Januar 2014 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Verlängerung der Dauer der Genehmigung für den Wirkstoff Kupferverbindungen; ABl. Nr. L 28 vom 31.01.2014 S. 34
- [10] KOMAREK, M., CADKOVA, E., CHRASTNY, V., BORDAS, F., BOLLINGER, J.-C., 2010: Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. Environment International **36**, 138–151

„Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

- [11] JUANG, K.-W., LEE, Y.-I., LAI, H.-Y., WANG, C.-H., CHEN, B.-C., 2012: Copper accumulation, translocation, and toxic effects in grapevine cuttings. *Environ Sci Pollut Res* **19**, 1315–1322
- [12] WILBOIS, K., KAUER, R., FADER, B., KIENZLE, J., HAUG, P., FRITZSCHE-MARTIN, A., DRESCHER, N., REINERS, E., RÖHRIG, P., 2009: Copper as Plant Protection Product with Special Regards to Organic Farming. *Journal für Kulturpflanzen* **61**(4), 140–152
- [13] STRUMPF, T., RIEPERT, F., STEINDL, A., STENDEL, U., BAIER, B., FELGENTREU, D. 2010: „Vorbereitung einer Feldstudie zur Erfassung der Kupfergehalte von Böden im Ökologischen Landbau und zu den Auswirkungen auf Regenwürmer“ - BÖL 2809OE015..Abschlussbericht 31.08.2010, SS. 71
- [14] JÄNSCH, ST., RÖMBKE, J., 2009: Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden“ [Vorhaben UBA Z 6 – 93 401/43 – (FKZ 36003 040)], UBA-Texte 10/09, SS. 67; ISSN 1862-4804
- [15] RIEPERT, F., D. FELGENTREU, D. & STRUMPF, T., 2013: Effects of copper contamination in viticulture on earthworm cenosis – results of field surveys. *Journal für Kulturpflanzen* **65**(12), 440–465
- [16] DIN EN ISO 23611-1: , 2011-09. Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 1: Handauslese und Formalinextraktion von Regenwürmern (ISO 23611-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 23611-1:2011
- [17] SPELLERBERG, I. F. & FEDOR, P. F., 2003: A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the ‘Shannon–Wiener’ Index. *Global Ecology & Biogeography* **12**, 177–179
- [18] LANGER, U., KUHN, K., WENIGER, T., NEUBERT, E., 2012: 17 Jahre Regenwurmfassung auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Sachsen-Anhalt. Endbericht 2012, 26 pp.
- [19] Graff, O., 1953: Bodenzoologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der terrikolen Oligochaeten. In: Z. Plantenern. Düng. Bodenk. **106**, 72-77
- [20] SIMS, R. W. & GERARD, B. M., 1999: Earthworms: Notes for the identification of British Species. 4th Edition. The Linnean Society of London and the Estuarine and Coastal Sciences Association by Field Studies Council, Montford Bridge, Shrewsbury, UK, pp 1-169.
- [21] CHRISTIAN, E. & ZICSI, A., 1999: Ein synoptischer Bestimmungsschlüssel der Regenwürmer Österreichs. *Die Bodenkultur*, Wien, **50**(2), 121-131
- [22] EASTON, E.G., 1983: A guide to the valid names of Lumbricidae (Oligochaeta). In: SATCHELL, J.E. (Ed.): *Earthworm Ecology - From Darwin to Vermiculture.* - Chapman and Hall, London and New York, 475-487.
- [23] BLAKEMORE, R.J., 2008; An updated list of valid, invalid and synonymous names of Criodrilioidea (Criodrilidae) and Lumbricoidea (Annelida: Oligochaeta: Sparganophilidae, Ailoscolecidae, Hormogastridae, Lumbricidae, and Lutodrilidae), Robert J. Blakemore PhD, C/- Soil Ecology Group, Graduate School of Enviro and Info Sciences, Yokohama, National University, 79-7 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama 240-8501. Japan, 80 pp. www.annelida.net/earthworm/Lumbricidae.pdf; (Stand: 20.08.2014)
- [24] DIN ISO 11260: 2010-12: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung unter Verwendung von Bariumchloridlösung.
- [25] DALBY, P.R., BAKER, G.H., SMITH, S.E., 1996: “Filter Paper Method” to Remove Soil from Earthworm Intestines and to Standardise the Water Content of Earthworm Tissue. *Soil Biol. Biochem.* **28** (4/5), 685-687, 1996. DOI: 10.1016/0038-0717(95)00157-3
- [26] LOFTFIELDS Analytische Lösungen. 6 AM - Druckaufschluss-System für die Mineralstoffanalytik. 1986: <http://www.loftfield.de/toepfe/toepfe.htm>
- [27] UBA Texte, 1995: Methodenhandbuch Bodenschutz Teil 1, 10/95, Druckaufschluss mit HF/HClO₄/HNO₃; ISSN 0722-186X, 49
- [28] DIN ISO 17512-1:2010-06 Bodenbeschaffenheit - Vermeidungsprüfung zur Bestimmung der Bodenbeschaffenheit und der Auswirkungen von Chemikalien auf das Verhalten – Teil 1: Prüfung von Regenwürmern (*Eisenia fetida* und *Eisenia andrei*) (ISO 17512-1:2008)
- [29] DIN ISO 11268-2 Bodenbeschaffenheit – Wirkung von Schadstoffen auf Regenwürmer (*Eisenia fetida*) Teil 2: Bestimmung der Wirkung auf die Reproduktionsleistung (ISO 11268-2:1998)
- [30] DIN ISO 11267 Hemmung der Reproduktion von Collembolen (*Folsomia candida*) durch Bodenschadstoffe (ISO 11267:1999)
- [31] 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
- [32] DIN ISO 23753-1, 2: 2006: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität in Böden – Teil 1 Verfahren mit Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) und Teil 2: Verfahren mit Iodotetrazoliumchlorid (ISO 23753-1, 2:2005)
- [33] DIN ISO 15685, 2004: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der potentiellen Nitrifizierung und Hemmung der Nitrifizierung – Schnellverfahren mittels Ammoniumoxidation (ISO 15685:2004)
- [34] ISO DIN 23611-6 (DIN EN ISO 23611-6, November 2013). Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 6: Anleitung für die Planung der Probenahme von Wirbellosen im Boden (ISO 23611-6:2012); Deutsche Fassung EN ISO 23611-6:2013
- [35] WIGHTWICK A. M., SALZMAN S. A., REICHMAN S. M., ALLINSON G., MENZIES, N. W., 2010: Inter-regional variability in environmental availability of fungicide derived copper in vineyard soils: an Australian case study. *J. Agric. Food Chem.* **58**, 449–57
- [36] STRUMPF, T. (2010): Kupfermonitoring in Deutschland: aktueller Stand [Vortrag, 51. Österreichische Pflanzenschutztag Schloss Seggau 01.-02.12.2010. Tagungsband ISSN 1996-5028, S. 21]
- [37] MA, W.C., 2005: Critical body residues (CBRs) for ecotoxicological soil quality assessment: copper in earthworms. *Soil Biol. Biochem.* **37**, 561-568

„Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

- [38] SCHER (Scientific Committee on Health and Environmental Risks), 2009: Voluntary Risk Assessment Report on Copper and its Compounds, Environmental Part. Letzter Zugriff 13.12.2013 (https://echa.europa.eu/chem_data/transit_measures/vrar_en.asp).
- [39] MA, Y., LOMBI, E., OLIVER, I.W., NOLAN, A.L., MCLAUGHLIN, M.J., 2006: Long-term ageing of copper added to soil. *Environ. Sci. Technol.* **40**, 6310-6317
- [40] STRUMPF, T.; STRASSEMAYER, J.; KRÜCK, ST.; HORNEY, P.; HOMMEL, B.; FELGENTREU, D. & HERWIG, N., 2015: Methodische Aspekte bei der Erhebung von Regenwurmlbensgemeinschaften im Qualitätsweinbau (Methodological aspects in the collection of earthworm communities in quality viticulture). *Journal für Kulturpflanzen*, **67**, 5-21
- [41] DOTT, W., ACHAZI, R., EISENTRÄGER, A., HUND-RINKE, K., KÖRDEL, W., NEUMANN-HENSEL, H., PFEIFER, F., RÖMBKE, J., WIESNER, J., WILKE B.-M., 2001: Biologische Testverfahren für Boden und Bodenmaterial. Hrsg.: DECHEMA-Arbeitsgruppe Validierung biologischer Testmethoden für Böden Wolfgang Dott. – Frankfurt am Main: DECHEMA, 7. Bericht des interdisziplinären Arbeitskreises „Umweltbiotechnologie – Boden“, 61 S.
- [42] DIN ISO 16072:2011 Bodenbeschaffenheit - Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung
- [43] Felgentreu, D., 2013: Einfluss von Kupfer auf die Aktivität von Bodenmikroorganismen in ausgewählten Böden deutscher Weinanbaugebiete. *Journal für Kulturpflanzen* **65**(12), 466–478. DOI: 10.5073/JFK.2013.12.02
- [44] SCOTT-FORDSMAND, J.J., WEEKS, J. M. AND HOPKINS, S. P., 2000: Importance of contamination history for understanding toxicity of Copper to earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Annelida), using neutral-red retention assay. *Environ. Toxicol. Chem.* **19**(7), 1774-1780
- [45] LOCK, K. & JANSSEN, C.R., 2003: Influence of aging on copper bioavailability in soils. *Environmental Toxicology and Chemistry* **22**, 1162-1166
- [46] OORTS, K., BRONCKAERTS, H., SMOLDERS, E., 2006: Discrepancy of the microbial response to elevated Cu between freshly spiked and long-term contaminated soils. *Environ. Toxicol. Chem.* **25**, 845-853
- [47] RUYTERS, St., SALAETS, P., OORTS, K., SMOLDERS, E., 2013: Copper toxicity in soils under established vineyards in Europe: A survey. *Science of the Total Environ.* **443**, 470-477.
- [48] WEIDENAUER, M., 2012: Bioverfügbarkeit von gealterten Kupferrückständen in Weinbergsböden. Fachgespräch: „Kupfer als Pflanzenschutzmittel“ - Berlin-Dahlem, 1. Dezember 2011. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* **164**, 11-24
- [49] KRÜCK, St., 2012: pers. Mitteilung
- [50] STRUMPF, T., TRAUlsen, B.-D., & PESTEMER, W., 2002: Availability of Copper in Arable Soils with High Copper Contents. I. A Status Review. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschd.* **54**(7), 161-168; ISSN 0027-7479
- [51] ANONYM, 2011: RL des BMELV zur Förderung von F-/E- Vorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer für eine nachhaltige Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten vom 7. Juli 2011
- [52] ANONYM, 1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554
- [53] DIN CEN, 2007: Bodenbeschaffenheit – Eluierungsverfahren für die anschließende chemische und ökotoxikologische Untersuchung von Boden und von Bodenmaterialien. Teil 2: Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg Trockenmasse ISO/TS 21268-2: 2007

10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

	Jahr	Medium
Strumpf, T.; Herwig, N.; Hommel, B.; Strassemeyer, J. (2013): Langjährige Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel auf Sonderkulturlflächen. In: Fachgespräch „Kupfer als Pflanzenschutzmittel“, Berlin-Dahlem, 05.12.2013, eds. Kühne, S., Friedrich B., Röhrig P.,	2013	Tagungsbeitrag Vorträge
Strumpf, T.; Strassemeyer, J.; Stefanie Krück, St.; Stendel, U.(2013): Modellierung zu erwartender Kupfergehalte in Regenwurmzönosen mit Modellextrakten von Böden auf langjährig bewirtschafteten Weinbaustandorten; eine Bewertung von NH ₄ NO ₃ - und CaCl ₂ -Extrakten (A simple model of possible copper contents in earthworms using model soil extracts from old vineyards; a comparative assessment of NH ₄ NO ₃ and CaCl ₂ extracts). Journal für Kulturpflanzen, 65 (12), 479–487	2013	Publikation
Herwig, N.; Strumpf, T. (2014): Bestimmung der Bioverfügbarkeit von Schwermetallen in Weinbergböden mittels sequentieller Extraktion - Eine standortspezifische Expositionsermittlung (Determination of the bioavailability of heavy metals in vineyard soils using sequential extraction method). Julius Kühn Archiv 447 , 130-131 [59. Deutsche Pflanzenschutztagung. 23. bis 26. September 2014, Freiburg i.B. Vortrag 08-6.]	2014	Tagungsbeitrag Vortrag
Hommel, B.; Felgentreu, D.; Römbke, J. & Strumpf, T. (2014): Eignung von Labortests mit <i>Eisenia fetida</i> für die Abschätzung der Risiken kupferbelasteter Böden für lokale Regenwurmzönosen (Applicability of laboratory tests with <i>Eisenia fetida</i> for risk assessment of copper polluted soils for local earthworm coenosis). Julius Kühn Archiv 447 , 557-558 [59. Deutsche Pflanzenschutztagung. 23. bis 26. September 2014, Freiburg i.B. Poster 223.]	2014	Tagungsbeitrag Poster
Hommel, B.; Felgentreu, D.; Herwig, N. & Strumpf, T. (2014): Einfluss von Kupfer auf die Aktivität von Bodenorganismen. Fachveranstaltung „Boden- und Weindiversität“. DLR RP Neustadt a. d. Weinstraße. 06. – 07.November 2014.	2014	Tagungsbeitrag Vortrag
Strumpf, T.; Herwig; N.; Hommel, B.; Felgentreu, D.; Strassemeyer, J.; Horney, P. (2014): Langjährige Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel auf Sonderkulturlflächen – Resümee und Ausblick nach 5 Erhebungsjahren. In: Fachgespräch „Kupfer als Pflanzenschutzmittel“, Berlin-Dahlem, 21.11.2014, eds. Kühne, S., Friedrich B., Röhrig P., Mitteilungen aus dem Julius Kühn-Institut im Druck	2014	Tagungsbeitrag Vorträge
Strumpf, T.; Strassemeyer, J.; Krück, St.; Horney, P.; Hommel, B.; Felgentreu, D. & Herwig, N. (2015): Methodische Aspekte bei der Erhebung von Regenwurmlebensgemeinschaften im Qualitätsweinbau (Methodological aspects in the collection of earthworm communities in quality viticulture). Journal für Kulturpflanzen, 67 (1), 5-21	2015	Publikation
Strumpf, T.; Strassemeyer, J.; Horney, P.; Herwig, N. & Stendel,U. (2015): Copper availability in specialty crops – a simple preliminary assessment of leaching - aging factor on the example quality viticulture (Kupferverfügbarkeiten in Sonderkulturen – eine einfache Erstabschätzung des Leaching – Alterungsfaktors am Beispiel Qualitätsweinbau). Journal für Kulturpflanzen 67 (1), 22-31	2015	Publikation

„Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau“ – Abschlussbericht des JKI, August 2012 – Februar 2014

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Bodenaushub bei hängigen, nicht terrassierten Flächen mit Setzen des Beprobungsrahmens für anschließenden Austrieb anözischer Lebensformtypen
- Abb. 2:** Mittlere Gewichtszunahme pro Individuum nach 4 Wochen in Böden der Standorte MR_01, RH_11 und RG_03, gruppiert nach den Prüfgliedern Prüffläche (PF) und Kontrollfläche (KO) sowie einem Vergleichsboden (4 Wiederholungen mit je 10 Tieren. ANOVA mit Student-Newman-Keuls-Test. Gleiche Buchstaben bedeuten kein signifikanter Unterschied, $P < 0,05$)
- Abb. 3:** Mittlere Anzahl Nachkommen der 10er-Kohorte nach 8 Wochen in Böden des Standortes MR_01, RH_11 und RG_03 gruppiert nach den Prüfgliedern Prüffläche (PF) und Kontrollfläche (KO) und einem Vergleichsboden (4 Wiederholungen mit je 10 Tieren. ANOVA mit Student-Newman-Keuls-Test. Gleiche Buchstaben bedeuten kein signifikanter Unterschied, $P < 0,05$)
- Abb. 4:** Einwanderungs-/Fluchttest: Box-Whisker-Plots für die Anzahl der Regenwürmer im Boden der Prüffläche (PF) der Standorte NA_01, RG_03, RH_10, RH_11, MR_01 und MR_03 und in einem Vergleichsboden (5 Wiederholungen mit je 10 Tieren, Versuchsdauer 48 Stunden). Die Whiskers kennzeichnen das 10%- bzw. das 90%-Quantil. Der Median ist durch die schwarze und der Mittelwert durch die rotgestrichelte Linie in der Box symbolisiert.
- Abb. 5:** Mittlere Anzahl der Nachkommen pro Adulte und Mortalität der Adulten nach 4 Wochen (4 Wiederholungen, 10 Tiere pro Ansatz. ANOVA mit Student-Newman-Keuls-Test. Gleiche Buchstaben bedeuten kein signifikanter Unterschied, $P < 0,05$)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1:** Mittlere Cu-Gesamtgehalte pro Untersuchungsfläche (mg Cu/kg Boden TM) von Prüf-, Referenz- und Kontrollflächen von 24 Qualitätsweinbaubetrieben, bei denen Erhebungen der Regenwurmzönose durch JKI erfolgten - geordnet nach den Betriebs-Code-Nummern (Zweibuchstabencode = Anbaugesamt)
- Tab. 2:** Ökotoxikologische Testverfahren mit tierischen Bodenorganismen
- Tab. 3:** Berechnete mikrobielle Aktivitätsparameter in Böden von Prüf- (PF), Referenz-(RF) und Kontrollflächen (KO) von 10 Weinbaubetrieben in unterschiedlichen Qualitätsweinbaugesamten (Mittelrhein, Nahe, Rheinhessen und Rheingau)