

Thomas Strumpf¹, Anna Steindl¹, Jörn Strassemeier², Frank Riepert¹

Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 1: Gesamtgehalte in Weinbergsböden deutscher Qualitätsanbaugebiete

Monitoring of total contents of copper in organically and conventionally managed soils.
Part 1: Total contents in vineyard soils of German quality vine areas

131

Zusammenfassung

Die in den Jahren 2009 und 2010 vorgenommenen Beprobungen waren konzipiert, eine Übersicht über die Kupfergesamtgehalte in den deutschen Weinanbaugebieten zu erhalten. Die damit gewonnene Datengrundlage kann sowohl weiteren spezifischeren Erhebungen als auch der Festlegung von Dauerbeobachtungsflächen dienen und ist Voraussetzung für die Auswahl von Flächen zur Untersuchung der Auswirkungen der Kupferbelastungen auf das Bodenleben im Sinne des „Strategiepapiers zum Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus“.

Insgesamt wurden 2087 Einzelproben aus den Bodenhorizonten bis 5 cm und bis 20 cm von 85 Reblagen an konventionell und ökologisch bewirtschafteten Standorten unter den Aspekten einer repräsentativen Erfassung der Belastungsverteilung entnommen. Auf der Basis von Gesamtgehalten wird die Belastungssituation und -verteilung ökologisch und konventionell bewirtschafteter Prüf- und Referenzflächen deutscher Anbaugebiete dargestellt. Der Einfluss von Begrünung und Bodenbearbeitung auf die Cu-Verteilungsmuster in den Bodenhorizonten bis 5 cm und bis 20 cm sowie die Gesamtgehaltsunterschiede in Böden zwischen Rebstöcken und zwischen Rebreihen werden diskutiert.

Es wurden 56 ökologisch und 29 konventionell bewirtschaftete Reblagen, bestehend jeweils aus Prüffläche, passender aus der Nutzung genommene Referenzfläche und weinbaulich nie genutzter Kontrollfläche beprobt. Die Einbindung der Referenzflächen erfolgte im Hinblick auf die in Aussicht genommenen biologischen Beprobungen zur Einschätzung der Auswirkungen aktueller Bewirtschaftungsmaßnahmen wie der Bodenbearbeitung auf die Bodenorganismen.

Von Prüf- und Referenzflächen deutscher Qualitätsanbaugebiete wurden die Kupfergesamtgehalte für den Bodenhorizont bis 20 cm aus 581 Bodenproben bestimmt und als Minimal-, Mittel- und Maximalwert sowie als verschiedene Percentile dargestellt.

Bei der Erhebung konnte durch Verknüpfung von Daten zur Bewirtschaftungsgeschichte mit den bestimmten Flächenbelastungen und aufgefundenen Literaturstellen nachgewiesen werden, dass die gemessenen Belastungsspitzen aus hohen Kupfereinträgen der Jahre 1890 bis etwa 1940 resultieren, als noch bis zu 50 kg Kupfer pro Jahr und Hektar zur Schaderregerbekämpfung im Weinbau angewandt wurden.

Anhand der gewonnenen Daten zur Belastungssituation, Standortbeschreibung und Bewirtschaftungsdauer werden 15 Reblagen vorgeschlagen, die aufgrund ihrer Eigenschaften einen bestimmten Standorttyp repräsentieren und die standortlichen Voraussetzungen bieten,

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin¹

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow²

Kontaktanschrift

Dr. Thomas Strumpf, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Königin-Luise-Str. 19, 14195 Berlin, E-Mail: thomas.strumpf@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

18. März 2011

durch eine Erhebung zum Vorkommen von Lumbriciden, Rückschlüsse auf das Risiko für Bodenlebewesen zu ziehen, das der Kupferanreicherung im Boden zuzuschreiben ist.

Der Wissenstransfer in die Praxis ist durch enge Abstimmung und Beteiligung der Verbände und Fachgespräche mit den beteiligten Kreisen sichergestellt. Die aus den Erhebungsdaten abgeleitete Belastungssituation wird den am Zulassungsverfahren beteiligten Behörden zur Verfügung gestellt.

Stichwörter: Kupfergesamtgehalte, Bekämpfung von Pilzkrankheiten, Rebenperonospora, *Plasmopara viticola*, ökologisch oder konventionell bewirtschaftete Weinbergböden, Belastungsverteilung, Risikoabschätzung, Vorauswahl geeigneter Erhebungsflächen

Abstract

The samplings carried out in the years 2009 and 2010 were designed to provide a survey of the copper contents of soils of vine culturing regions in Germany. The data base received may be used for additional more specific surveys and the identification of sites appropriate for long term monitoring as well. It is also considered as a prerequisite for the identification of sites suitable for the assessment of effects of copper soil contamination to soil dwelling organisms in terms of the "strategy paper concerning further copper application in agriculture, especially in organic farming."

2087 single samples from the soil horizon to 5 cm and to 20 cm were taken from 85 ecologically and conventionally managed vine yards. The sampling aims to get a representative survey of load distribution as a prerequisite of a monitoring program to be performed on selected sampling locations combining exposure analysis and identification of sensitive indicator species of the particular earthworm coenoses. On the basis of total contents, copper load and distribution on test and reference areas of German cultivation sites is shown. The influence of plant cover between the rows on the copper distribution pattern in the soil horizons to 5 cm and to 20 cm and the differences of samples taken along the cultivation rows and between them is discussed.

Samples were taken from 56 ecologically and 29 conventionally managed sites, consisting of an area under cultivation (test area), an area having been under cultivation in the past (reference), an area never having been under cultivation indicating natural occurrence (control).

Total copper contents of test and reference areas (581 soil samples) from the soil horizon 0–20 cm were analyzed and presented as minimum, maximum, mean and percentiles.

The load distribution survey in combination with management history and literature data verifies that load peaks result from high copper input in the years 1890 to 1940, when up to 50 kg copper per ha and year was applied to control fungal diseases in viticulture.

By means of the data, generated in the survey concerning load situation, site description and duration of management, 15 cultivation sites representing by their properties a typical site, and fulfilling the site specific requirements for a biological sampling on species abundance of lumbricidae are proposed as an instrument of risk assessment for soil dwelling organisms.

The transfer of knowledge into practice is ensured by close co-operation with organic farming associations and expert discussions with involved institutions. The derived contamination scenario will be provided to agencies taking part in the authorization process.

Key words: Total contents of copper, control of fungi, vine-Peronospora, *Plasmopara viticola*, organically and conventionally managed vineyard soils, load situation in viticulture, risk potential, exposure assessment, preselection of adequate monitoring areas

Einleitung

Das Schwermetall Kupfer wird im Boden nicht abgebaut, sodass keine Abbaudaten angegeben werden können. Über die Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln und Einträgen aus anderen kupferhaltigen Quellen in der Landwirtschaft auf Bodenorganismen existiert eine umfangreiche Literatur (KLEPPER et al., 1999; RIEPERT, 2009; MALKOMES, 2010). Aus diesen Untersuchungen lässt sich ableiten, dass Kupfer bei langjähriger Anwendung schädigend auf viele Arten von Bodenorganismen wirken kann.

Ein allgemein anerkannter Wert zur Festlegung eines Schwellenwertes oberhalb dessen mit unvertretbaren Auswirkungen auf das Bodenleben zu rechnen wäre, liegt nach dem derzeitigen Erkenntnisstand nicht vor, da bei einer Risikobetrachtung weitere Einflussgrößen wie z.B. Standortbedingungen, Bewirtschaftungsweise (Begrünung, Mulchen) und Pflanzenschutzintensität zu berücksichtigen sind. Aufgrund unterschiedlicher artspezifischer Empfindlichkeit gegenüber Kupfer kann es zur Verschiebung des Artengefüges auf kupferbelasteten Standorten und zu einer abnehmenden Biodiversität bei steigendem Kupfergehalt kommen (FILSER et al., 1995; PEDERSEN et al., 1999; SPURGEON und HOPKIN, 1999).

Mit diesen Untersuchungen wird eine chemische und biologische Erhebung in ausgewählten Reblagen auf der Grundlage eines Konzepts zur Auswahl geeigneter Standorte vorbereitet, welches das Spektrum der Belastungssituation in der Kultur Wein abbildet. In einer sich anschließenden Feldstudie sollen mit der Beprobung der oberen 20 cm tiefen Bodenschicht repräsentativer Standorte alle wesentlichen belastungs- und wirkungsprägenden Merkmale auf das Artenvorkommen und die Abundanz der Regenwurmzönose erfasst werden. Diese Schichttiefe entspricht dem Lebensraum der epi- und endogäischen Regenwurmart und deckt sich mit der genormten Aushebungstiefe (DIN ISO 23611-1) der Beprobungsflächen. Tiefengräber wie *Lumbricus terrestris* müssen durch ein

spezielles Austreibeverfahren gesondert beprobt werden. Die Exposition dieser anezischen Arten erfolgt vorrangig durch die Aufnahme von Nahrung aus der Streuschicht.

Anhand von Felderhebungen in der Dauerkultur Weinbau an Standorten unterschiedlich langer Nutzung unter den Aspekten einer repräsentativen Erfassung der Belastungsverteilung und der Expositionsabschätzung an ausgewählten Standorten unterschiedlicher Belastungshöhe soll in Anschlussuntersuchungen geklärt werden, welchen Einfluss der Kupfergehalt im Boden auf empfindliche Indikatorarten der jeweiligen Regenwurmzönosen hat.

Dazu werden in der vorliegenden Untersuchung Vorschläge zur Auswahl geeigneter Monitoringflächen für eine spätere Freilandhebung der Regenwurmzönose auf der Grundlage einer Bewertungsmatrix unterbreitet, die einer späteren Überwachung als gefährdet angesehener Flächen dienen kann (Auflage von Programmen zur Überwachung gefährdeter Gebiete gemäß Richtlinie der Kommission 2009/37/EG vom 23. April 2009).

Material und Methoden

Erhebungsumfang

Unter Einbindung des ECOVIN Bundesverband Ökologischer Weinbau e.V., Naturland e.V., Bioland e.V. wurden für den Erhebungsplan und die Vorauswahl der Beprobungsflächen relevante Suchkriterien identifiziert.

Die Verteilung der Kupferkonzentrationen wurde von 85 Reblagen erhoben. Der Einfluss von Kupferspritzungen bei *Plasmopora*-Behandlungen auf die Cu-Bodengehalte am Rebstock und mittig in der Fahrgasse wird durch ausgewählte Einzelbeprobungen von Prüfflächen berücksichtigt. Bei Hanglagen erfolgte zusätzlich bei erkennbaren Wassersammlungspunkten eine Oberflächenbeprobung erodierten Bodens (mögliche „Hot Spots“) (Tab. 1).

Die Probenzahl richtet sich nach der Verfügbarkeit von Untersuchungsflächen. Zusätzlich wurden konventionell bewirtschaftete Reblagen mit Referenz- und Kontrollflächen in den Prüfplan einbezogen, sofern sie in Nachbarschaft zu ökologisch bewirtschafteten Reblagen liegen.

Tab. 1. Anzahl Einzelproben von Prüf-, Referenz- und Kontrollflächen aus deutschen Qualitätsweinanbaugebieten

	Summe Flächen	Summe Proben
Insgesamt	273	2087
davon Prüfflächen	117	1098
davon Referenzflächen	74	572
davon Kontrollflächen	84	153
davon Zusatzproben		264*

*Unter Zusatzproben sind zusätzliche Probenahmen mittig in der Fahrgasse und Beprobungen möglicher „Hot Spots“ gemeint.

Je Betrieb wurde jeweils mindestens eine Prüffläche, eine Referenzfläche und eine Kontrollfläche beprobt. Dabei ist die Prüffläche eine seit längerem in Nutzung stehende Fläche. Die Referenzfläche oder auch positive Kontrolle ist eine aus der Bewirtschaftung genommene Fläche, auch als Weinbrache bezeichnet. Eine nach Auskunft der beteiligten Betriebe niemals weinbaulich genutzte Fläche ist die Kontrollfläche (negative Kontrolle).

Insgesamt wurden 56 ökologisch bewirtschaftete und 29 konventionell bewirtschaftete Reblagen in die Belastungserhebung einbezogen und somit eine umfassende Abbildung der Belastungsverteilung erhalten (Tab. 2).

Es wurden vorrangig Praxisbetriebe beprobt, um den realen Gegebenheiten in der weinbaulichen Praxis zu entsprechen. Die an der Belastungserhebung beteiligten Weinbaubetriebe sind sowohl Nebenerwerbs- (kleinster Betrieb 0,38 ha) als auch Haupterwerbsbetriebe (größter Betrieb 160 ha) (Abb. 1).

Erhebung der Belastungsverteilung

Die Probenahme auf den Prüf- und Referenzflächen erfolgt in Anlehnung an die Regeln der Probenahme für landwirtschaftlich genutzte Böden (DIN ISO 10381-1:2003; DIN ISO 10381-4:2004). Der Entwurf des „Leitfadens zur Koordinierung der Monitoringaktivitäten der Untersuchungen zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln (Stand 26.04.2010)“ des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) wurde berücksichtigt.

Dies setzt neben der Erfassung der Flächendaten [Flurbereinigung/-neuordnung, Nutzungsdauer, geographische Lage (Klima), Bewirtschaftungsweise (Begrünung, Mulchen) und Cu-Einträge durch PSM + Düngung] in den Fragebögen (Identdatenblätter) die Verfügbarkeit von Flächen im Besitz der ausgewählten Betriebe voraus, die jeweils aus einer Prüffläche, einer passenden positiven (aus der Nutzung genommene) und einer (naturbelassenen) Kontrollfläche zur Erfassung der Hintergrundbelastung von Kupfer je Standort bestehen. Die Identdatenblätter stellen neben den gewonnenen Analyse-daten eine wichtige Entscheidungshilfe für Vorschläge zur Auswahl geeigneter Monitoringflächen dar.

Die Auswahl der Betriebe hängt im Wesentlichen von deren Bereitschaft zur Mitwirkung und die Auswahl der Beprobungsfläche(n) weitgehend von der Empfehlung des Betriebes ab. Die Probenahmestrategie ist als systematische Probenahme angelegt. Nach der zufälligen Wahl der ersten Beprobungsstelle wurden die weiteren Beprobungspunkte entlang einer durch das Flurstück gedachten Diagonale gelegt. Von den Prüfflächen wurden die Kupfergesamtgehalte getrennt für die Bodenhorizonte 0-5 und 0-20 cm analysiert.

Insgesamt wurden **2087 Einzelbodenproben** aus den Bodenhorizonten bis 5 und bis 20 cm von Prüf-, Referenz- und Kontrollflächen zur Analyse der Gesamtgehalte in Königswasser (VDLUFA, 1991) und bodenkundlicher Basisparameter [Korngröße (DIN, 1997; DIN, 2008), pH-Wert (VDLUFA, 1991b), org. Substanz (DIN, 1996),

Tab. 2. Anzahl beprobter Weinbaubetriebe in deutschen Qualitätsweinbaugebieten (BANz., 1996)

Qualitätswein-Bereich		Anzahl	
Nr. Anbau-bereich	Anbaubereichs-name	ökologisch	konventionell
11	Walporzheim/Ahrtal	2	
21	Badische Bergstraße/ Kraichgau	1	1
22	Bodensee	1	1
23	Breisgau	1	
24	Kaiserstuhl	3	2
25	Markgräflerland	4	4
26	Ortenau		
27	Tauberfranken	1	
28	Tuniberg	1	1
31	Mainviereck	2	
32	Maindreieck	2	1
33	Steigerwald	3	
41	Umstadt		2
42	Starkenburger		1
51	Siebengebirge		1
52	Loreley	2	
61	Zell/Mosel	1	
62	Bernkastel	4	2
63	Saar-Ruwer		
64	Obermosel		
65	Moseltor		
71	Nahetal	2	
81	Mittelhaardt/ deutsche Weinstraße	2	
82	Südliche Weinstraße	2	1
91	Johannisberg	2	1
92	ohne		
101	Bingen	2	
102	Nierstein	5	2
103	Wonnegau	1	
111	Schloss Neuenburg		3
112	Thüringen		1
121	Meißen	1	
122	Elstertal		1
123	ohne		
131	Kocher-Jagst-Tauber		
132	Württembergisches Unterland	7	4
133	Remstal-Stuttgart	2	
134	Oberer Neckar	1	
135	Württembergischer Bodensee		
136	Bayerischer Bodensee	1	
Summe:		56	29

C/N-Verhältnis (DIN, 1998)] im Labor entnommen. Die Beprobungen erfolgten im März und Oktober 2009 (488 Bodenproben) und im April/Mai 2010 (1599 Bodenproben). Die Anzahl der Proben resultiert aus einer diagonalen Beprobung jeder Prüffläche und jeder Referenzfläche mit jeweils 5 Einzelproben. Bei den Prüfflächen wurden zusätzlich die Fahrgassen beprobt. Bei den Kontrollflächen wurden die Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt.

Die angewandte Methodik zur Erhebung der Belastungsverteilung und der aus der Machbarkeitsabschätzung gewonnene Erkenntnisfortschritt wurden bereits publiziert (RIEPERT et al., 2010).

Probleme bei der Flächenauswahl

Bei den Beprobungen der Reblagen hat sich herausgestellt, dass von den beteiligten Winzern selten Aussagen zur ursprünglichen Ausdehnung des Wingerts und seiner Bewirtschaftung in der Vergangenheit – insbesondere bei Flächennutzungen ≥ 100 Jahre – getroffen werden können. Fehlende Kenntnisse der Betriebe zur Bewirtschaftungsgeschichte der Flächen führten bei einigen ausgewählten Kontrollflächen zu dem Ergebnis, dass doch in der Vergangenheit Bodenverschiebungen und/oder Weinbau stattgefunden haben müssen, da erhöhte Kupfergehalte nachgewiesen wurden.

Oft war vor den Cu-Gehaltsbestimmungen nicht bekannt, ob die Gehalte der Kontrollfläche überhaupt im Bereich der Erwartungswerte möglicher geogener Hintergrundgehalte liegen. Kontrollflächen, deren Gehalte deutlich über dem Erwartungswert für die Hintergrundbelastung liegen, bleiben im Sinne der ersten Zuordnung zwar Kontrollflächen, scheiden aber als zukünftige Beprobungsflächen aus. Gegebenenfalls müsste an einem solchen Standort nach einer anderen Fläche gesucht werden, die die erforderlichen Kriterien besser erfüllt.

Im manchen Weinbaubereichen, wie z.B. Kaiserstuhl oder Tuniberg sind alle Flächen bestockt, wodurch eine Beprobung aus der Nutzung genommener Flächen (Referenzflächen) zur Darstellung des Einflusses von Bodenbearbeitungsmaßnahmen bei späteren biologischen Erhebungen nicht möglich war. An der Ahr erwiesen sich die Beprobungen besonders in den Steillagen als äußerst aufwändig bis unmöglich, da die dort vorkommenden Schieferböden einen Skelettanteil von 80 v.H. aufwiesen.

Ergebnisse

Eine erste Auswertung der vorliegenden Daten führt zu einer aktuellen Zustandserhebung für die deutschen Qualitätsweinbaugebiete auf der Basis der Gesamtgehalte. Auf der Grundlage der bestimmten Gesamtgehalte können folgende Punkte analysiert werden:

- Belastungssituation in den einzelnen deutschen Weinbaugebieten,
- Vergleich Belastungssituation ökologisch/konventionell bewirtschaftete Rebflächen,

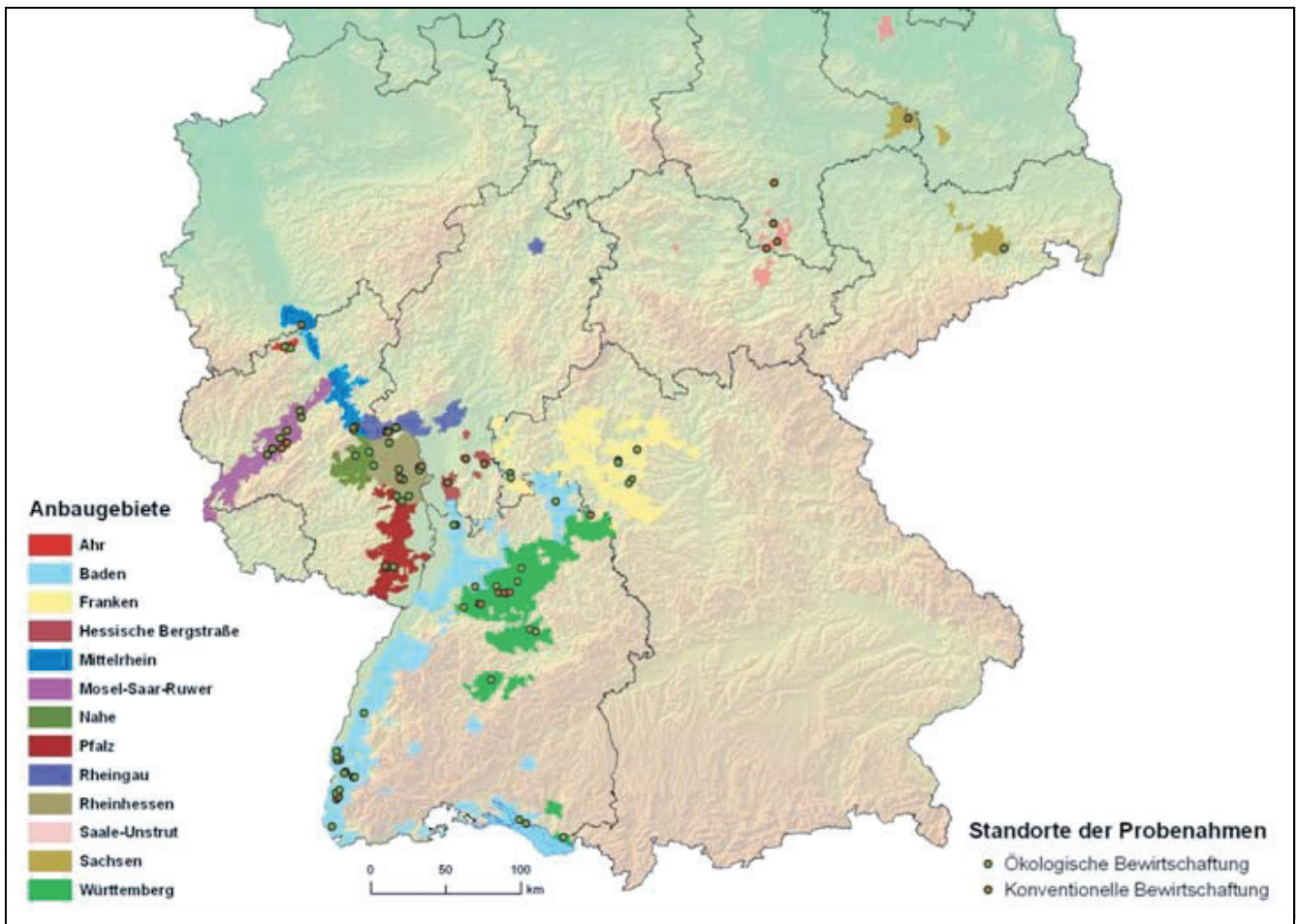


Abb. 1. Standorte der Probenahmen in deutschen Qualitätsweinanbaugebieten.

- c) Belastungsverteilung auf Prüfflächen und Referenzflächen: homogen oder inhomogen?
- d) Einfluss Begrünung und Bodenbearbeitung auf die Cu-Verteilungsmuster in den Bodenhorizonten bis 5 und bis 20 cm,
- e) Einfluss von Kupferanwendungen auf die Bodengeamtgehalten zwischen Rebstöcken und Rebreihen.

Belastungssituation in deutschen Qualitätsweinanbaugebieten

Durch Publikationen von Einzelbefunden (GÄRTEL, 1985; KLOSKOWSKI, 1998) entstand in der Vergangenheit der Eindruck, dass in fast allen Reblagen mit hohen Kupferbelastungen gerechnet werden muss. Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass die Kupferbelastung in den einzelnen Qualitätsanbaugebieten unterschiedlich hoch ist. In einigen Weinbaugebieten wurden Gesamtgehalten bestimmt, die unter 60 mg Cu/kg Boden (TM) liegen.

Als Ursachen kommen dafür Unterschiede in der Bewirtschaftungsdauer und der Mittelanwendung in Frage. So sind z.B. in dem Gebiet Hessische Bergstraße die Rebflächen erst seit 40 bis 60 Jahren bestockt. In den Qualitätsanbaugebieten der neuen Bundesländer (Saale-Unstrut und Sachsen) wurden über 40 Jahre aus ökonomischen

und politischen Gründen keine Kupferpräparate im Weinbau eingesetzt.

Sofern die Cu-Bodengesamtgehalten deutlich über den Hintergrundgehalten liegen, wird auf den Prüf- und Referenzflächen oft eine inhomogene Belastungsverteilung nachgewiesen. Die in Abb. 3 beispielhaft dargestellte Prüffläche befindet sich seit 1910 in rebbaulicher Nutzung; in den Jahren 1962/63 fanden umfangreiche Flurbereinigungen statt.

Bei dem außerhalb der Diagonale liegenden 6. Wert in Höhe von 131 mg Cu/kg Boden (TM) handelt es sich um einen Fahrgassenbeprobungswert (Zusatzprobe gemäß Tab. 1). Eine mögliche Erklärung für die Inhomogenität innerhalb der Proben der Prüffläche(n) eines Betriebes konnte bislang nicht in den Angaben der beteiligten Betriebe zur Bewirtschaftung der Lagen gefunden werden.

Ordnet man die für die Cu-Gesamtgehalten der Prüfflächen bestimmten Variationskoeffizienten (CV) einer aus 4 Klassen bestehenden Häufigkeitsverteilung zu, so zeigt sich aber, dass mehr als 46% einen CV von < 25% und weitere 35% einen CV von immer noch unter 50% aufweisen (Tab. 3).

Beobachtungen, die zu der Annahme führten, dass sich Unterschiede der Gehalte zwischen dem zentralen Feld-

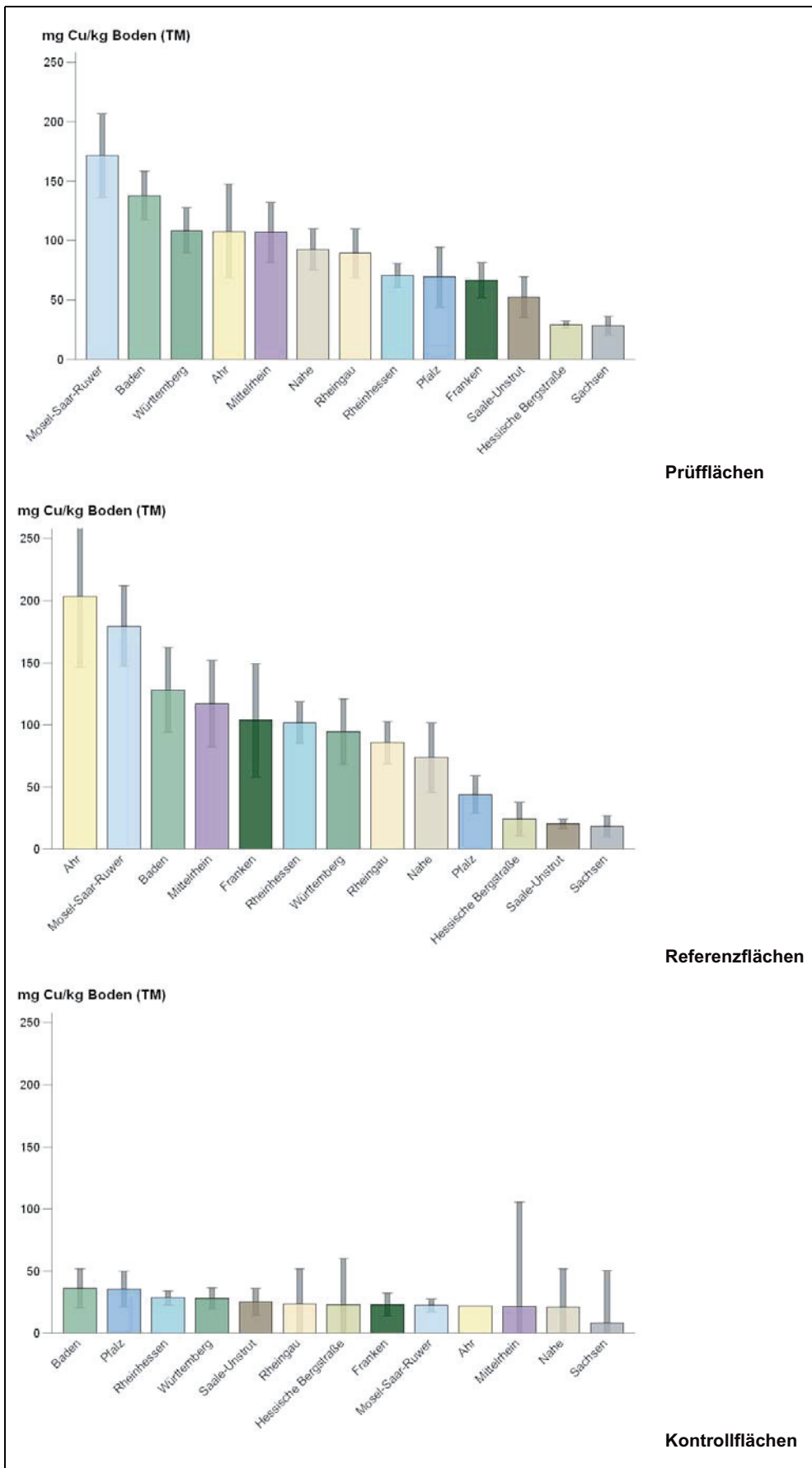


Abb. 2. Mittelwerte der Kupfer-Gesamtgehalte auf Prüfflächen, Referenzflächen und Kontrollflächen für den Bodenhorizont bis 20 cm mit 95% Konfidenzintervall.

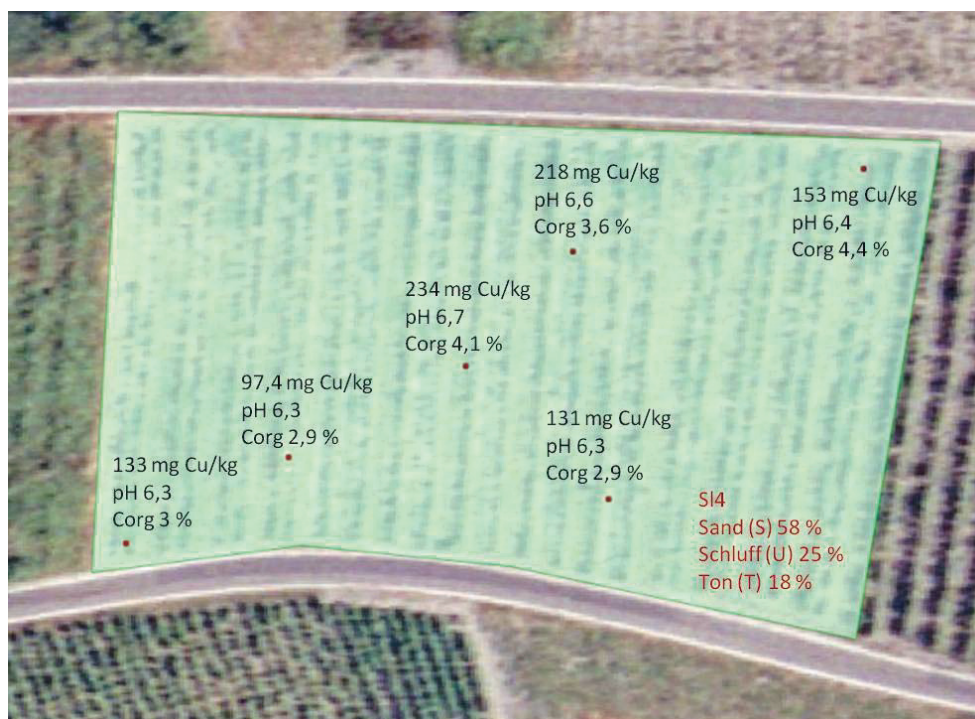


Abb. 3. Mittelwerte der Kupfer-Gesamtgehalte auf Prüfflächen, Referenzflächen und Kontrollflächen für den Bodenhorizont bis 20 cm mit 95% Konfidenzintervall.

bereich und den Randbereichen ergeben, haben sich statistisch nicht bestätigen lassen. Beim Vergleich der beiden Außenwerte mit den 3 inneren Werten im Zweistichproben-t-Test konnte die Nullhypothese nicht abgelehnt werden ($p > 0,05$ bei beiden Bewirtschaftungsweisen).

In den 50er bis 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden bei den langjährig genutzten Rebflächen oft Flurneuordnungen durchgeführt, in deren Ergebnis historisch vorbelastete Böden unterschiedlicher Bodenhorizonte von benachbarten Flächen verschoben wurden. Ein Vergleich der Mittelwerte der Gehalte im Bodenhorizont bis 20 cm zeigt sich überlappende Konfidenzintervalle, die keine statistisch signifikanten Unterschiede erwarten lassen (Abb. 4).

Die Säulenhöhe in Abb. 5 steht für die Häufigkeit, mit der Cu-Gehalte einer bestimmten Klassenzugehörigkeit in Bodenproben gemessen wurden.

Tab. 3. Relative Häufigkeit nach 4 Größenklassen gruppierter Variationskoeffizienten der Cu-Gesamtgehalte aus insgesamt 86 Prüfflächen bei einer Beprobungstiefe von bis 20 cm

Häufigkeitsklasse der Variationskoeffizienten (%)	Häufigkeit in %	
	Ökologische Bewirtschaftung	Konventionelle Bewirtschaftung
0-25	46,43	43,33
25-50	35,71	36,67
50-75	12,5	13,33
75-100	5,36	6,67

Die Minimal- und Maximalwerte, das arithmetische Mittel sowie die 50. (Medianwert), 10., 25., 75. und 95. Perzentile der Gesamtgehalte von Prüf- und Referenzflächen sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Die in Nutzung stehenden Rebflächen sind ein echter Gradmesser für die Belastungsverteilung. In die Cu-Bodengesamtgehalte gehen der Zeitraum des Cu-Eintrags durch *Plasmopora*-Behandlungen (Teil der Flächenhistorie), die aktuelle Bewirtschaftungsweise und Kulturführung sowie Bodenverschiebungen (Flurbereinigen und -neuordnungen) ein.

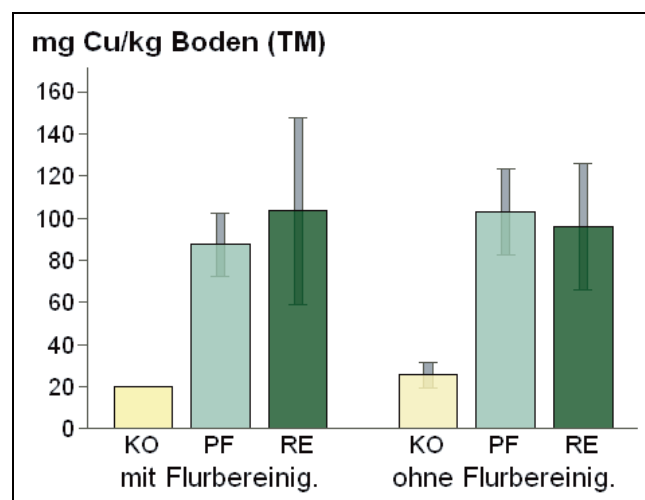


Abb. 4. Mittelwerte der Kupfer-Gesamtgehalte mit 95% Konfidenzintervallen auf Kontrollflächen (KO), Prüfflächen (PF) und Referenzflächen (RE), auf denen eine Flurbereinigung und keine Flurbereinigung durchgeführt wurde.

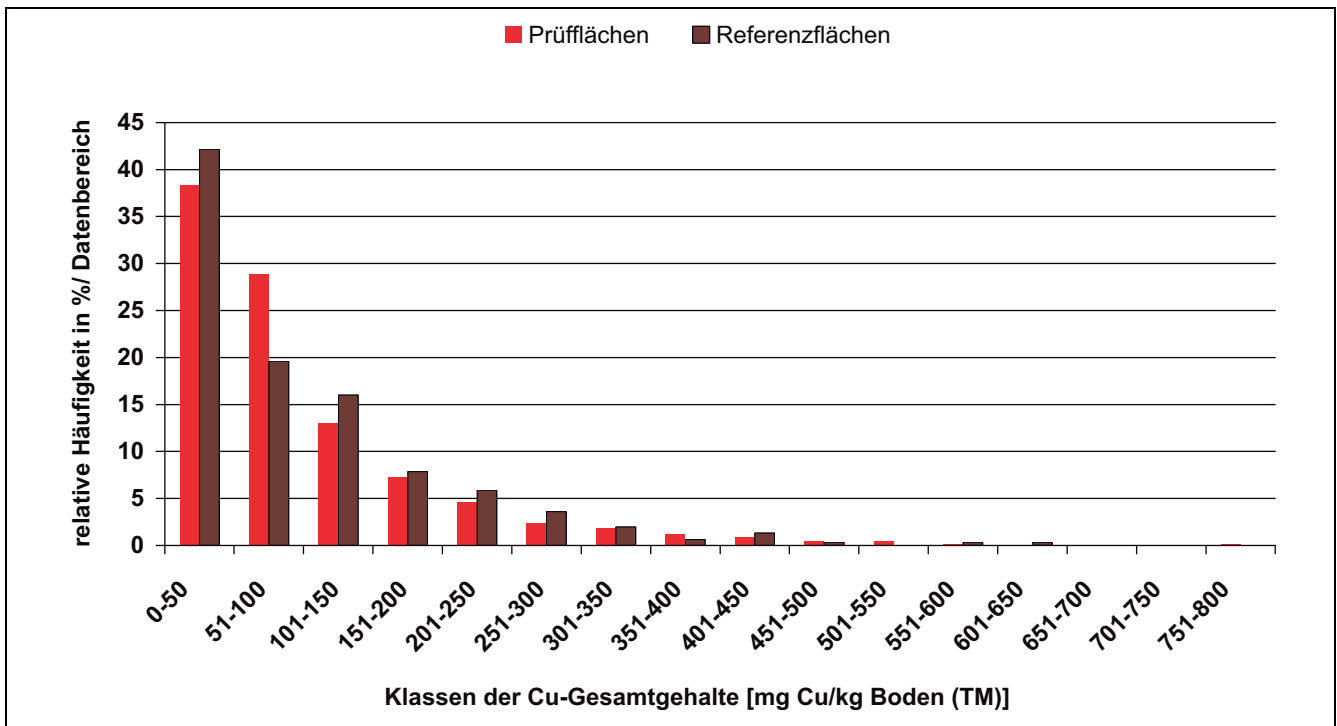


Abb. 5. Prozentuale Häufigkeitsverteilung gemessener Cu-Gesamtgehalte (mg Cu/kg TM Boden) in den Proben der Prüf- und Referenzflächen aus Stichprobenumfängen von n = 581 bzw. n = 306 für den Bodenhorizont 0-20 cm bei einer Klassenbreite von 50 mg Cu/kg.

Die meist mehr als 10 Jahre aus der Bewirtschaftung genommenen Weinbrachen (Referenzflächen) sind bedeutsam für die Differenzierung zwischen den verschiedenen für Regenwurmpopulationen als nachteilig anzusehenden Faktoren und sollen zu diesem Zweck möglichst ähnlich hohe Belastungen aufweisen wie die Prüfflächen. Wie Tab. 4 und Abb. 5 zu entnehmen ist, liegen die bestimmten Percentile und der arithmetische Mittelwert der Prüf- und Referenzflächen im gleichen Größenbereich.

Viele der terrassierten Brachen liegen in Steillagen und befinden sich teilweise seit Dekaden in fortschreitender Sukzession. Ihre Wiederinbetriebnahme ist fraglich, da es sich oft um für den Weinbau unwirtschaftliche Flächen handelt. Zudem sind in den Betrieben die Pflanzrechte begrenzt bzw. ausgeschöpft.

Kupfergesamtgehalte in den Bodenhorizonten bis 5 und bis 20 cm

Bei den Beprobungen wurden von Prüf- und Referenzflächen 779 Probenpaare von Bohrkernen bis 5 cm und bis 20 cm Bodentiefe gewonnen.

Die gefundenen Kupfer-Bodengesamtgehalte von Kontroll-, Prüf- und Referenzflächen deutscher Qualitätsweinbaugebiete sind als Mittelwerte mit den 95% Konfidenzintervallen für die Bodenhorizonte bis 5 cm und bis 20 cm dargestellt (Abb. 6).

Einen Sonderfall stellen die bewirtschafteten Steillagen an Ahr, Mosel, Nahe sowie in der Pfalz und in Württemberg dar, welche in die Gesamtbetrachtung einfließen. Deshalb wären im Bodenhorizont bis 5 cm von Prüfflächen tendenziell höhere Kupfer-Gesamtgehalte im Königswasseraufschluss im Vergleich zu dem Bodenhorizont

Tab. 4. Kupfergesamtgehalt als Minimal-, Mittel- und Maximalwert sowie Percentile bei Prüf- und Referenzflächen für den Bodenhorizont bis 20 cm und bis 5 cm

Fläche	Tiefe	n	Mittel	s	Min.	p10	p25	Median	p75	p95	Max.
Prüffläche	20	581	101.9	97.1	9.6	28.1	37.9	67.7	128.0	218.0	774.0
Prüffläche	5	517	120.7	111.2	12.4	34.8	53.7	88.9	147.0	236.7	825.0
Kontrollfläche	20	81	28.0	20.5	4.9	12.0	19.1	23.9	31.1	42.1	167.0
Kontrollfläche	5	60	28.7	17.5	3.7	14.1	19.0	25.2	35.2	42.4	119.0
Referenzfläche	20	306	100.3	99.5	2.5	16.2	30.2	61.0	143.8	228.5	627.0
Referenzfläche	5	266	93.9	93.6	4.4	15.6	30.9	58.6	133.5	206.5	583.0

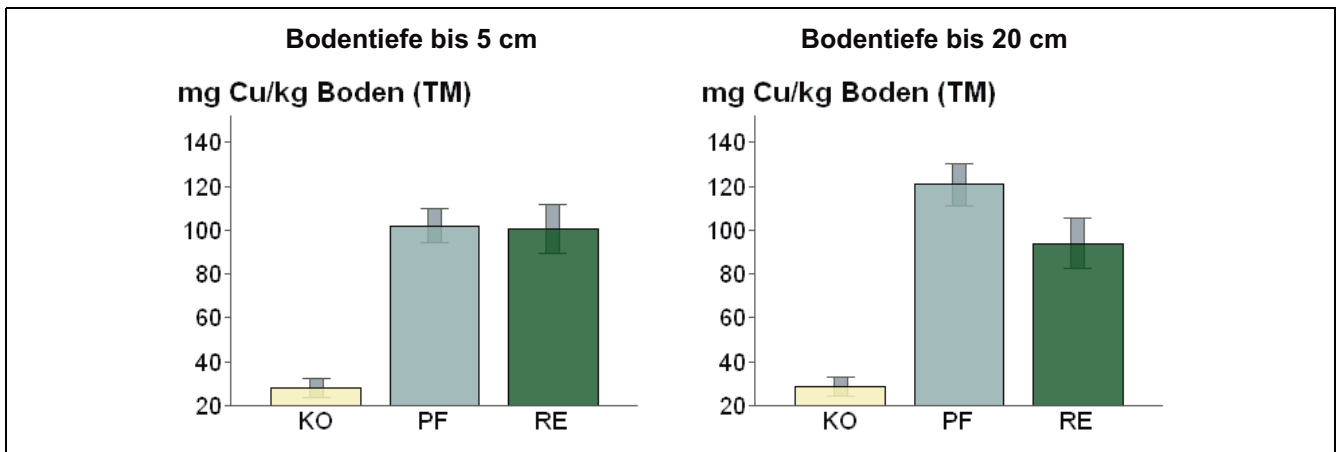


Abb. 6. Mittelwerte der Kupfer-Gesamtgehalte auf Kontrollflächen (KO), Prüfflächen (PF) und Referenzflächen (RE) für die Bodenhorizonte bis 5 cm und bis 20 cm mit 95% Konfidenzintervall.

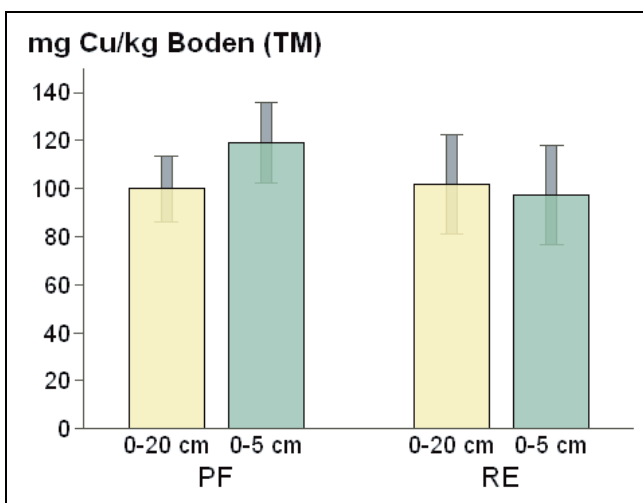


Abb. 7. Mittelwerte der Kupfer-Bodengesamtgehalte mit 95% Konfidenzintervall für Prüfflächen (PF) und Referenzflächen (RE) im Oberboden bis 20 cm und bis 5 cm Bodentiefe.

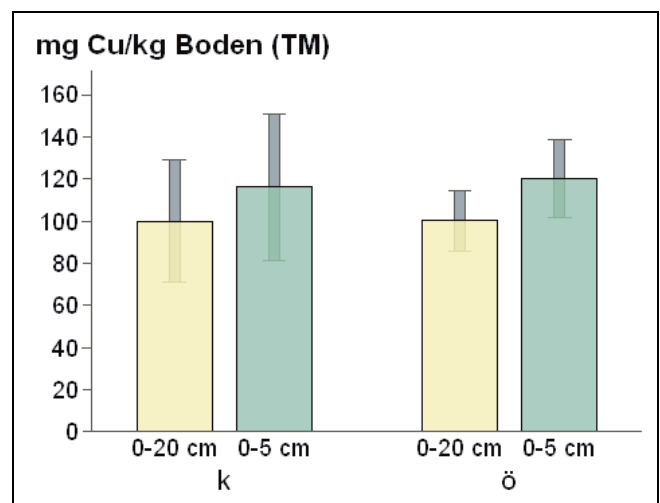


Abb. 8. Vergleich der Kupfer-Gesamtgehalte bei ökologisch (ö) und konventionell (k) bewirtschafteten Prüfflächen in deutschen Qualitätsanbaubetrieben für die Bodenhorizonte bis 20 cm und bis 5 cm.

zont bis 20 cm („Verdünnungseffekt“) zu erwarten, was auf seltene bzw. fehlende Bodenbearbeitung zurückzuführen sein könnte (Abb. 7). Wie das Balkendiagramm zeigt und durch den statistischen Test bestätigt wird, sind zwischen den beiden Beprobungstiefen dennoch keine signifikanten Unterschiede erkennbar ($p > 0,05$).

Vergleich der Kupferbelastung zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Rebflächen

In der Diskussion in öffentlichen Kreisen bleibt die Frage zu den Bodengehalten oft ausgeklammert, da diese kein Kriterium für eine ökologische Bewirtschaftung sind. Unabhängig davon blieb die Frage zu klären, wie hoch die Kupferbelastungen auf den beprobten Prüfflächen sind und ob tendenziell Unterschiede zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen vorhanden sind. Sollte dem so sein, ist den dafür verantwortlichen Ursachen nachzugehen.

Wenn man die Stichprobenmittelwerte für die Bodenhorizonte bis 5 und bis 20 cm von allen Einzelproben

ökologisch und konventionell bewirtschafteter Prüfflächen vergleicht, zeigt sich in auffälliger Weise, dass zwischen Bewirtschaftungsweisen keine Unterschiede in den Kupfer-Bodengesamtgehalten bestehen, wohl aber zwischen den beiden Beprobungstiefen ($p < 0,05$) der ökologisch bewirtschafteten Flächen (Abb. 8). Wegen der sehr unterschiedlichen Stichprobengrößen (n) der beiden Bewirtschaftungsweisen sind die Ergebnisse der statistischen Tests mit Vorsicht zu betrachten.

Die nicht signifikanten Unterschiede zwischen den beprobten Flächen der beiden Bewirtschaftungsweisen lassen sich im Wesentlichen dadurch erklären, dass eine ökologisch bewirtschaftete Prüffläche eine konventionelle „Vorgeschichte“ hat, die zeigt, wie hoch die Bodengesamtgehalte dieser Flächen bereits bei Bewirtschaftungsumstellung waren.

Da bei den beteiligten Betrieben selten Angaben zur Pflanzenschutzintensität aus der Periode vor den letzten 10 Jahren vorliegen, müssen indirekte Angaben aus Rechtsetzungen des Pflanzenschutzes in eine Abschätz-

zung aufgebracht Kupfermengen auf die Prüfflächen in den letzten Dekaden zu Hilfe gezogen werden.

Einfluss Begrünung und Bodenbearbeitung auf die Cu-Verteilungsmuster

Die Frage hier ist, ob in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise Unterschiede in den Cu-Verteilungsmustern zwischen den Bodenhorizonten bis 5 und bis 20 cm bei den Beprobungspunkten nachweisbar sind.

Die einzelnen Arten der Weingartenbegrünung, ihre Vorzüge und Nachteile sind bei TRIEBAUMER beschrieben.

In der Regel wird bei ökologisch bewirtschafteten Rebflächen alternierend jede zweite Reihe durch Einsaat (z.B. Luzerne, Kräuter, Klee) begrünt. Seltener findet man in ökologisch bewirtschafteten Rebflächen einjährige Begrünungen, während in konventionell bewirtschafteten Lagen Dauerbegrünungen dominieren. In Steillagen wird meist die Begrünung der natürlichen Ansiedlung überlassen und auf eine jährliche Bodenbearbeitung verzichtet (Erosionsschutz und Aufwand).

Zur Klärung des Einflusses der Art der Begrünungsregimes in den Weingärten und der daraus resultierenden Bodenbearbeitung auf die Cu-Verteilungsmuster bei alternierender, spontaner und Dauerbegrünung wurden die berechneten Mittelwerte der analysierten Kupfer-Bodengesamtgehalte beider Bodentiefen miteinander verglichen (Abb. 9).

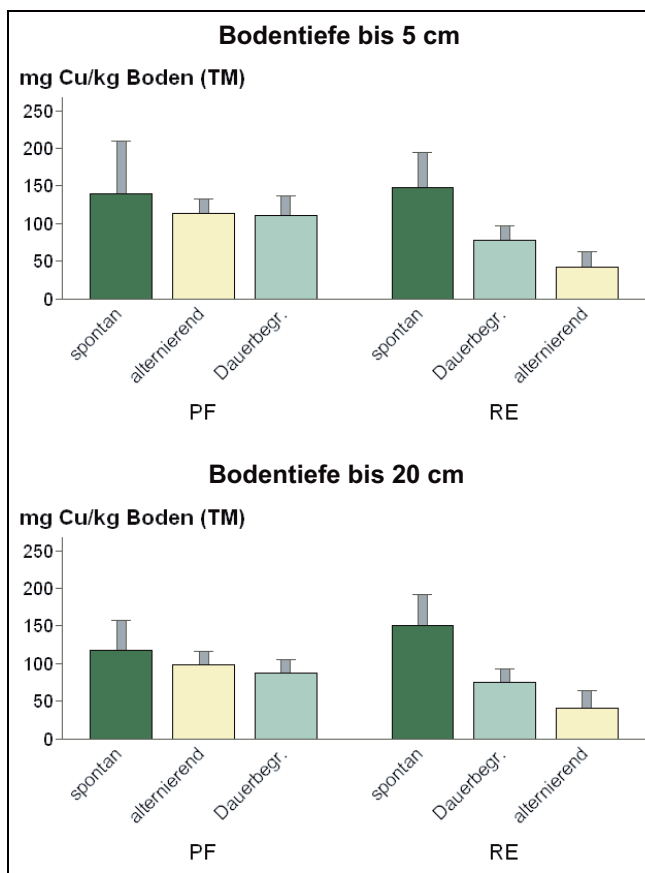


Abb. 9. Einfluss von spontaner, alternierender und dauerhafter Begrünung auf die Kupfergesamtgehalte in den Bodenhorizonten bis 5 und bis 20 cm bei beprobten Prüfflächen (PF) und Referenzflächen (RE) als Mittelwerte im Vergleich.

Auf den Prüfflächen lassen sich zwischen den beobachteten Begrünungstypen keine statistisch signifikanten Unterschiede feststellen. Bei den Referenzflächen dagegen werden bei sogenannter spontaner Begrünung signifikant höhere Gehalte gemessen. Die Ursache dafür könnte darin zu suchen sein, dass diese oft in Steillagen ohne Bodenbearbeitung liegen, sodass die ehemals aufgetragenen Kupferlasten in der oberen Bodenschicht konserviert sind. Bearbeitungsmaßnahmen bis in tiefere Schichten führen im Auflagehorizont dagegen zur Abnahme der Cu-Gesamtgehalte („Verdünnungseffekt“).

Bei alternierender Begrünung wurden im Mittel die geringsten Gesamtkupfergehalte in beiden Bodentiefen nachgewiesen. Hier wird nur jede 2. Reihe eingesät, wobei die andere Reihe offen gehalten wird. Das System wandert allerdings im Lauf der Jahre, sodass letztlich durch die Bodenbearbeitung eine gute Durchmischung entsteht, was zu den geringeren Bodengesamtgehalten beiträgt. Das Merkmal „alternierend“ bei Referenzflächen steht für Flächen mit Nutzungen, die Bodenbearbeitung einschließen. Die höheren Gehalte in der Bodenschicht bis 5 cm bei dauerhaft begrünt Flächen könnten tendenziell ein Hinweis darauf sein, dass das eingetragene Kupfer in der obersten Bodenschicht festgehalten wird. Statistisch signifikante Unterschiede waren auf den Prüfflächen allerdings nicht zu erkennen. Zu berücksichtigen bleibt auch die statistische Problematik ungleicher Zellengrößen (Tab. 5).

Inwiefern bei der Vielzahl der Faktoren auf die Cu-Verteilungsmuster bis in 20 cm Bodentiefe die Einflüsse von Bodenbearbeitung und Begrünungsart im Vergleich zu den Faktoren Bewirtschaftungsdauer und Flurbereinigungen/-neuordnungen zu gewichten sind, ist bisher unklar.

Einfluss der Spritztechnik auf die Bodengehalte zwischen Rebstöcken und Rebreihen

Der Einfluss der Spritztechnik (MOHR et al., 2008) auf die Cu-Bodengehalte am Rebstock und mittig in der Fahrgasse wird durch ausgewählte Einzelbeprobungen von Prüfflächen berücksichtigt. Für eine Nutzen-/Risikobewertung sind Kenntnisse über die Belastungsverteilung auf der Zielfläche insofern von Bedeutung, als bei stark heterogener Belastung Rückzugsareale entstünden, die für den Erhalt der Regenwurmpopulation und damit auch für eine mögliche Wiederbesiedelung von großem Nutzen wäre.

Hinweise, ob die Verteilung der Kupfergehalte auf der Prüffläche homogen oder inhomogen ist, lassen sich aus dem Vergleich der Cu-Bodengehalte aus Proben erhalten, die nahe der Rebstöcke entlang den Pflanzreihen gezogen wurden und solchen, die aus dem mittleren Bereich der Fahrgassen zwischen den Rebreihen am selben Standort stammen. Kupferapplikationen zur Bekämpfung der Rebenperonospora erfolgen zielgerichtet auf die Reblätter; Kupferanteile können aber nach Laubfall auch zwischen die Rebreihen gelangen und durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen verteilt werden (Abb. 10).

Rebenperonospora-Spritzungen mit Kupfer können zu einer Bodenanreicherung im Oberboden an den Reb-

Tab. 5. Kupfergesamtgehalten in den Bodenhorizonten bis 5 und bis 20 cm bei beprobten Prüfflächen bei spontaner, alternierender oder dauerhafter Begrünung als Mittelwerte jeder Prüffläche im Vergleich [mg Cu/kg Boden (TM) Boden]

Anzahl Prüfflächen	Begrünung		
	10	54	34
Bodentiefe	Spontan	Alternierend	Dauerhaft
bis 5 cm	118,85	102,88	137,86
bis 20 cm	115,19	83,91	114,69

stöcken führen. Bodenbearbeitungsmaßnahmen führen zu einer Nivellierung der Kupfer-Bodengesamtgehalten zwischen Rebstöcken und Rebreihen auf den Prüfflächen. Damit einhergehend erfolgt eine „Verdünnung“ der Bodengesamtgehalten (s. Vergleich Bodenhorizonte bis 5 cm und bis 20 cm in Abb. 10).

Einfluss der Bewirtschaftungsdauer auf Cu-Gesamtgehalten

Dass Kupfer im Boden nicht abgebaut werden kann und sich darin anreichert, wenn die jährlich aufgebrachte Kupfermenge den jahresdurchschnittlichen Entzug über Erntegut übersteigt, dürfte unbestritten sein. Bei der Lese wird kaum Kupfer entzogen, da Trester, Trub und der in der Kellerwirtschaft zurück bleibende Presskuchen in der Regel wieder auf die Flächen aufgebracht werden. Die Blätter mit der Hauptmasse des saisonal ausgebrachten Kupfers bleiben ebenfalls auf der Fläche. Diese Tatsache wird auch mit den durchgeführten Belastungserhebungen bestätigt. Abb. 11 zeigt die Anreicherung von Kupfer

in Böden von Prüfflächen in konventioneller Bewirtschaftung für den Bodenhorizont bis 20 cm in Abhängigkeit der Nutzungsdauer auf Basis der Mittelwerte jeder Prüffläche.

Es bleibt somit noch der Frage nachzugehen, über welchen Zeitraum wie viel Kupfer auf den Prüfflächen zur Bekämpfung von Falschem Mehltau an Weinreben appliziert wurde. Bei langjähriger rebbaulicher Nutzung (insbesondere ≥ 100 Jahre) liegen dazu keine Angaben vor. Aus Zeitdokumenten (HERSCHLER, 1939; SCHOLL und ENKELMANN, 1984) geht aber hervor, dass hohe Kupfergaben bis zu 50 kg Cu/ha und Jahr zu Ende des 19. Jh. (ab 1890) und bis in die 40er Jahre des 20. Jh. (bis zum 2. Weltkrieg) hauptverantwortlich für die Höhe der jetzt anzutreffenden Belastungen sind.

Der exponentielle Anstieg in den bestimmten Kupfergesamtgehalten zeigt, dass vor über 100 Jahren beträchtliche Kupfermengen auf die Rebflächen appliziert worden sein müssen. Langjährig rebbaulich genutzte Prüfflächen, die z.Zt. ökologisch bewirtschaftet werden, haben ebenfalls eine Vorgeschichte konventioneller Bewirtschaftung. Bei ökologisch oder konventionell bewirtschafteten Prüfflächen, die erst seit 25 Jahren bestockt sind, wurden Gesamtgehalten analysiert, die unter 40 mg Cu Kg/Boden (TM) liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aufwandmengen an Cu-Präparaten in den letzten Dekaden deutlich zurückgegangen sind.

Abb. 12 liefert einen Hinweis dafür, dass bei Betrieben, die Flächen bewirtschaften, die erst kürzere Zeit in der Nutzung stehen, der Eintrag von Kupfer in ökologisch bewirtschafteten Betrieben signifikant höher ausfällt. (Zellengrößen beim statistischen Vergleich ungleich!)

Ökologisch bewirtschaftete Prüfflächen mit einer Nutzungsdauer unter 50 Jahren weisen deutlich höhere Kupfergesamtgehalten auf. Dies ist nur erklärbar bei der Annahme, dass die jährlich maximal zulässigen Aufwandmengen für

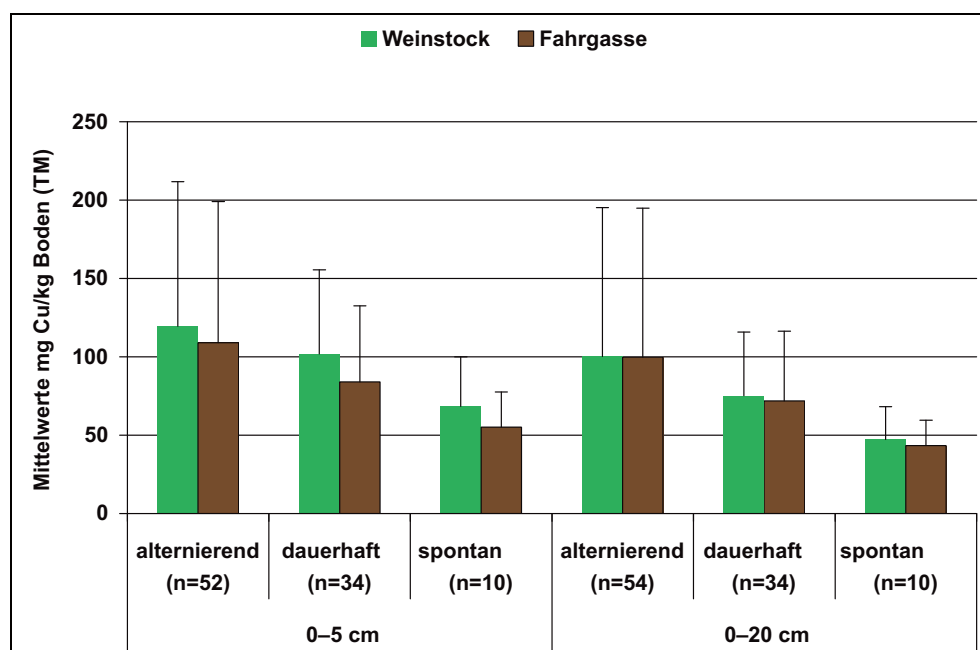


Abb. 10. Kupfergesamtgehalten im Mittel zwischen Rebstöcken und Rebreihen bei alternierender, spontaner und dauerhafter Begrünung in den Bodenhorizonten bis 5 cm und bis 20 cm bei beprobten Prüfflächen, n = Anzahl beprobter Prüfflächen.

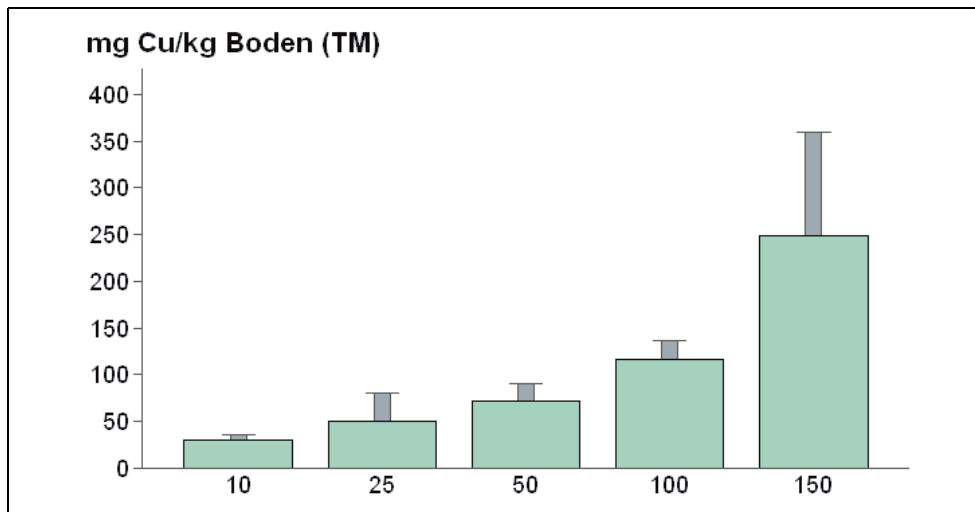


Abb. 11. Mittelwerte der Kupfergesamtgehalten mit 95% Konfidenzintervallen der Prüfflächen bis 20 cm Bodentiefe mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsdauer.

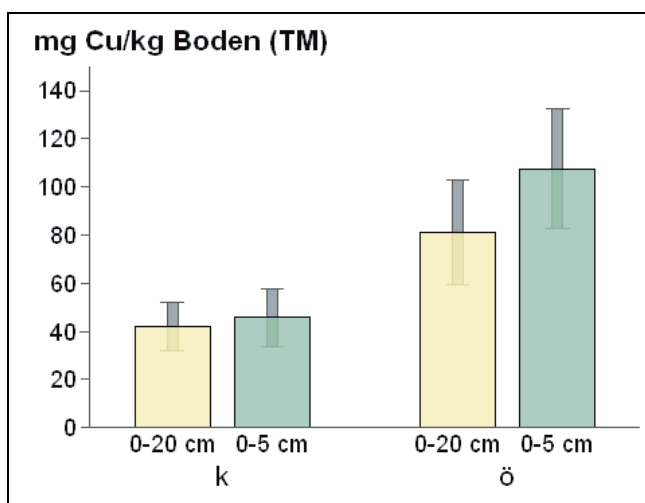


Abb. 12. Mittelwertevergleich der Kupfergesamtgehalten der Beprobungstiefen von ökologisch oder konventionell bewirtschafteten Prüfflächen mit einer Bewirtschaftungsdauer ≤ 50 Jahren mit 95% Konfidenzintervallen.

Kupferanwendungen im ökologischen Weinbau gemäß der EG-ÖKO-Basisverordnung 834/2007 mit den Durchführungsbestimmungen der EG-Verordnung Nr. 889/2008 vom 5. September 2008 in der Vergangenheit weitgehend ausgeschöpft worden sind.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass heute beide Bewirtschaftungsweisen die eingesetzten Kupfermengen auf das absolute Minimum beschränken, das notwendig ist, um die gewünschte Wirkung zu erzielen und die vorhandenen Belastungsspitzen (ermittelte Gesamtgehalten) eindeutig aus der „Vorgeschichte“ der Zielflächen resultieren.

Schlussfolgerungen

- Die Kupfergesamtgehalten verschiedener Anbaugebiete und Lagen unterscheiden sich erheblich. Hauptursache dafür ist die Nutzungsdauer in Verbindung mit den hohen Aufwandmengen früherer Jahre (1890 – 1940).

- Die Höhe der Gehalte ist in geringerem Maße von der Beprobungstiefe abhängig. In der Schicht bis 5 cm findet sich in der Regel mehr Kupfer, sofern nicht durch jährliche Bodenbearbeitung eine ständige Durchmischung erfolgt. Bei weiteren Beprobungen sollten Proben aus den Schichten bis 5 cm und bis 20 cm entnommen werden, um eine bessere Abtrennung zu erhalten.
- Die Art und Weise der Bodenbedeckung hat in Verbindung mit der Bodenbearbeitung ebenfalls einen gewissen Einfluss auf die vertikale Verteilung des Kupfers.
- Die lateral gerichtete Spritztechnik beeinflusst die horizontale Verteilung der Kupfergehalten im Boden. Im zentralen Bereich der Fahrgassen wurden zwar als Folge von Bodenbearbeitungsmaßnahmen in der Vergangenheit ebenso erhöhte Gehalte gemessen, aber in etwas niedriger Höhe als in der Pflanzreihe.
- Bei jüngeren Anlagen (< 50 Jahre) gibt es Hinweise auf geringere Belastungen in konventionell bewirtschafteten Anlagen. (Die Unterschiede sind statistisch signifikant unter dem Vorbehalt ungleicher Stichprobenzahlen.)
- Da bei den beteiligten Betrieben selten Angaben zur Pflanzenschutzintensität aus der Periode vor den letzten 10 Jahren vorliegen, müssen indirekte Angaben aus Rechtsetzungen des Pflanzenschutzes in eine Abschätzung aufgebracht Kupfermengen auf die Prüfflächen in den letzten Dekaden zu Hilfe gezogen werden.

Vorschlag für ein weiteres Vorgehen

Auf der Grundlage einer ganzheitlichen Bewertungsmatrix werden auf Grundlage identifizierter Kriterien wie Flurgestaltung, Nutzung seit Jahren, Kupfergesamtgehalten (mg Cu/kg Boden) inkl. jährlicher Cu-Einträge durch PSM, Bewirtschaftung/Begrünung, Bodenart, org. Substanz (%) und unter Berücksichtigung der geographischen Lage (Klima) 10 bis 15 geeignete Reblagen vorgeschlagen, die jeweils aus einer Prüffläche, einer passenden positiven (aus der Nutzung genommenen) und einer negativen

(naturbelassenen) Kontrollfläche zur Erfassung der Hintergrundbelastung von Kupfer je Standort bestehen.

Dabei sollten bevorzugt Reblagen gewählt werden, bei denen die Flächen eine vergleichbare Bodenstruktur aufweisen, um Matrixeinflüsse von den Auswirkungen von Kupfer auf die Ausbildung von Bodenzönosen trennen zu können. Auf dazugehörigen Referenz- und Kontrollflächen sollte keine Bodenbearbeitung stattfinden. Hierfür eignen sich z.B. Wiesen, auf denen ein störender Einfluss von Bearbeitungsmaßnahmen auf Abundanzen der Regenwurmzönose ausgeschlossen werden kann. Auch bei vorhandenen Kontrollflächen mit Laubmischwaldbestand, dürfte das Artenspektrum der Regenwurmzönose gegenüber Prüfflächen differieren. Nicht geeignet sind Kontrollflächen mit Nadelmischwald, da sich hier zusätzlich die Boden-pH-Werte von denen der Prüfflächen unterscheiden.

Danksagung

Die Autoren danken Frau Ursula STENDEL, Frau Catrin VETTER und Frau Martina KULCKE für ihre technische Assistenz bei den durchgeführten Laboruntersuchungen mit den gesammelten Weinbodenproben.

Die Untersuchungen wurden teilfinanziert über das Bundesprogramm Ökologischer Landbau durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) über das Projekt „Vorbereitung einer Feldstudie zur Erfassung der Kupfergehalte von Böden im Ökologischen Landbau und zu den Auswirkungen auf Regenwürmer“ Förderkennzeichen 09OE015.

Literatur

- Bundesanzeiger (BAnz) Jahrgang 48, Nr. 95a vom 23.05.1996 – Bekanntmachung der geographischen Herkunftsangaben für deutschen Wein vom 8.03.1996.
- DIN ISO 23611-1:2007-02: Bodenbeschaffenheit – Probenahme von Wirbellosen im Boden – Teil 1: Handauslese und Formalinextraktion von Regenwürmern (ISO 23611-1:2006).
- DIN ISO 10381-1:2003: Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen;
- DIN ISO 10381-4:2004: Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten.
- DIN ISO 10694, 1996: Katalytische Rohrverbrennung unter Sauerstoffzufuhr bei hohen Temperaturen.
- DIN 19683, 1997: 2. Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Physikalische Laboruntersuchungen, Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat.
- DIN ISO 13878, 1998: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des Gesamtstickstoffs durch trockene Verbrennung (Elementaranalyse).
- DIN 4220, 2008: Bodenkundliche Standortbeurteilung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen).
- EG-ÖKO-Basisverordnung 834/2007 mit den Durchführungsbestimmungen der EG-Verordnung Nr. 889/2008 vom 5. September 2008 mit Anhang II: Pestizide – Pflanzenschutzmittel vom 11.09.2009.
- FILSER, J., H. FROMM, R.F. NAGEL, K. WINTER, 1995: Effects of Previous Intensive Agricultural Management on Microorganisms and the Biodiversity of Soil Fauna. *Plant and Soil* **170**, 123-129.
- GÄRTEL, W., 1985: Belastung von Weinbergsböden durch Kupfer. Aus: Pflanzenschutzmittel und Boden. Berichte über Landwirtschaft, 198. Sonderheft, Hamburg und Berlin, P. Parey, 123-133.
- HERSCHLER, A., 1939: Kupfer und Arsen in Weinbergsböden. *Wein und Rebe* Nr. 21, 261-276.
- KLEPPER, O., T.P. TRAAS, A.J. SCHOUTEN, G.W. KORTHALS, D. DE ZWART, 1999: Estimating the effect on soil organisms of exceeding no-observed effect concentrations (NOECs) of persistent toxicants. *Ecotoxicology* **8**, 9-21.
- KLOSKOWSKI, R., 1998: Verbleib von Kupfer in Boden und Wasser nach Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln. *Berichte aus der BBA*, 34-36(Darmstadt).
- MALKOMES, H.-P., 2010: Einfluss Kupfer-haltiger anthropogener Einträge auf Bodenmikroorganismen – eine Übersicht. II. Mikrobielle Aktivitäten. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (12), 429-443.
- MOHR, H.D., O. BAUS, G. BÄCKER, B. BERKELMANN-LÖHNERTZ, 2008: Minimierung des Kupfereinsatzes im ökologischen Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Blattbeläge und ihrer Wirkung gegen den Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*) – Teil 3: Einfluss der Applikationstechnik. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **60** (8), 173-180.
- PEDERSEN, M.B., J.A. AXELSEN, B. STRANDBERG, J. JENSEN, M.J. ATTRILL, 1999: The impact of a copper gradient on a microarthropod field community. *Ecotoxicology* **8**, 467-483.
- RIEPERT, F., 2009: Auswirkungen von Kupferbelastungen auf ausgewählte Indikatoren der Bodenzönose. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (4), 131-139.
- RIEPERT, F., A. STEINDL, R. EIBACH, M. MAIXNER, Ch. REICHMUTH, J. STRASSEMAYER, T. STRUMPF, 2010: Monitoring of total contents of copper in organically and conventionally managed soils. Part 1: Study plan and preliminary sampling of copper and other anthropogenic induced heavy metal contents in vineyard soils. *Journal für Kulturpflanzen* **62** (2), 42-50.
- SCHOLL, W., R. ENKELMANN, 1984: Zum Kupfergehalt von Weinbergsböden. *Landw. Forsch.* **37** (3-4), 286-297.
- SPURGEON, D.J., S.P. HOPKIN, 1999: Seasonal variation in the abundance, biomass and biodiversity of earthworms in soils contaminated with metal emissions from a primary smelting works. *Journal of Applied Ecology* **36**, 173-183.
- TRIEBAUMER, E., 2007/2008: Weingartenbegrünung. Bakkalaureats-Arbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. BOKU Wien, 28 S., <http://backonline.apswiss.ch/6027/pdf-bakk.pdf>; letzter Zugriff 20.01.2010.
- VDLUFA, 1991a: Methodenbuch, Band I. Die Untersuchung von Böden, A 2.4.3.1. VDLUFA-Verlag Darmstadt; DIN, 1983: DIN 38414, Teil 7. Aufschluss mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen. Berlin, Beuth Verlag.
- VDLUFA, 1991b: Methodenbuch, Band I. Die Untersuchung von Böden, A 5.1.1. Darmstadt, VDLUFA-Verlag.