

Thomas Strumpf<sup>1</sup>, Bernhard Engelhard<sup>2</sup>, Florian Weihrauch<sup>2</sup>, Frank Riepert<sup>1</sup>, Anna Steindl<sup>1</sup>

## Erhebung von Kupfergesamtgehalten in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Böden. Teil 2: Gesamtgehalte in Böden deutscher Hopfenanbaugebiete

Monitoring of total copper contents in organically and conventionally managed soils.  
Part 2: Total contents in German hop soils

144

### Zusammenfassung

Neun Hopfenlagen an konventionell und vier an ökologisch bewirtschafteten Standorten wurden unter den Aspekten einer möglichst repräsentativen Erfassung der Kupfer-Belastungsverteilung beprobt. Das Ergebnis der Erhebung soll als Grundlage für die Auswahl gebietstypischer Anbausituationen dienen, die in Verbindung mit einer spezifischen Expositionsermittlung die Erfassung der Auswirkung von Kupfer auf empfindliche Indikatorarten der jeweiligen Regenwurmzönose ermöglicht.

Auf der Basis von Kupfergesamtgehalten werden Belastungssituation und -verteilung auf Prüfflächen und Referenzflächen sowie Belastungsunterschiede zwischen Hopfenreihen und Fahrgassen in deutschen Hopfenanbaugebieten dargestellt.

Aus der Bewirtschaftungshistorie der Beprobungsflächen resultieren Schwermetallbelastungen (As, Cr, Pb, Zn, V). Die analysierten Schwermetallbodgehalte unterscheiden sich von Fläche zu Fläche, was auf unterschiedliche anbautechnische Maßnahmen bei den einzelnen Flächen in der Vergangenheit zurückzuführen ist.

Bei der Belastungserhebung konnte durch Verknüpfung von Daten zur Bewirtschaftungsgeschichte mit vorhandenen Flächenbelastungen in Verbindung mit aufgefundenen Literaturstellen erstmalig nachgewiesen werden, dass diese Belastungsspitzen aus den Jahren 1924

bis etwa 1965 resultieren, als noch 60 kg Kupfer pro Jahr und Hektar zur Schaderregerbekämpfung im Hopfenbau angewendet wurden.

Anhand der erhobenen Daten zur Belastungssituation, Standortbeschreibung und Bewirtschaftungsdauer werden drei Hopfenlagen vorgeschlagen, auf denen eine biologische Statuserhebung zu den Auswirkungen auf die Regenwurmzönose durchgeführt werden sollte.

**Stichwörter:** Kupfergesamtgehalte, Bekämpfung von Pilzkrankheiten, Falscher Mehltau bei Hopfen, *Pseudoperonospora humuli*, ökologisch oder konventionell bewirtschaftete Hopfenböden, Belastungsverteilung, Risikopotential, Risikoabschätzung, Vorauswahl geeigneter Erhebungsflächen

### Abstract

Soil samples were taken from 9 conventionally and 4 organically managed hop growing sites, considering all aspects that are relevant for a representative assessment of copper loads. The result of this survey is intended to enable the selection of characteristic cultivation types for each site, which, in combination with a refined exposure analysis, are a prerequisite for the assessment of the effects of copper on earthworm coenoses.

### Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin<sup>1</sup>

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Hopfenforschungszentrum, Wolnzach-Hüll<sup>2</sup>

### 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

3. Februar 2011

Based on total contents, the copper load and its distribution on test and reference fields of German hop cultivation sites is presented. Additionally, the heavy metal content was determined in general, and differences in copper contents between and within hop rows were identified.

The management history of the hop sites led to additional heavy metal soil contamination (As, Cr, Pb, Zn, V). Due to different cultural measures exercised in the past, the analyzed total heavy metal contents differ between growing regions.

Comparing literature with managing history and current management, it is obvious that peaks of contamination result from applications between 1924 and 1965, when for the control of plant diseases up to 60 kg copper per ha and year were used.

The collected data concerning load situation, site description and duration of management suggest that three hop sites are appropriate for a biological assessment of soil quality and its recent impact on earthworm coenoses.

**Key words:** Total content of copper, control of fungi, hop downy mildew, *Pseudoperonospora humuli*, organically and conventionally managed hop soils, load situation in hop culture, risk potential, exposure assessment, pre-selection of adequate monitoring areas

## 1 Hintergrund und Zielsetzung der Untersuchungen

Kupferhaltige Präparate werden seit etwa 120 Jahren in Deutschland gegen Pilzkrankheiten wie den Falschen Mehltau an Weinrebe und Hopfen oder die Kraut- und Knollenfäule an der Kartoffel eingesetzt. Sie gehören damit zu den ältesten Pflanzenschutzmitteln. Seit längerem stehen kupferhaltige Pflanzenschutzmittel im Zentrum von Diskussionen um eine nachhaltige Landbewirtschaftung. In mehreren Fachgesprächen, zuletzt beim BMELV-Workshop „Kupfer im Pflanzenschutz“ am 17. März 2010, wurden Risiken und Nutzen von Anwendungen kupferhaltiger Mittel dargestellt. Vor dem Hintergrund der kritischen Bewertung der Wirkungen von Kupfer auf Bodenorganismen einschließlich Wirbeltiere im Zulassungsverfahren und gegensätzlichen Beobachtungen bei Feldbegehungen wurde der Bedarf nach einer aktuellen Erarbeitung einer differenzierten Übersicht über die Höhe der Kupfergesamtgehalte anhand von Felderhebungen in Dauerkulturen wie dem Hopfen und zu ihren ökologischen Auswirkungen sowie einer fachlich fundierten Erfassung biologischer Parameter in wichtigen Anwendungsbereichen hervorgehoben.

Die Untersuchungsschritte sind Grundlage zur Auswahl geeigneter Monitoringflächen gemäß RICHTLINIE DER KOMMISSION 2009/37/EG vom 23. April 2009 (Auflage von Programmen zur Überwachung gefährdeter Gebiete durch Zulassungsinhaber).

Bei einer Risikobetrachtung sind neben der Erfassung der Intensität der Kupferapplikationen auch weitere Einflussgrößen wie z.B. Standortbedingungen, Bewirtschaftungsweise (Begrünung, Mulchen) und Bewirtschaftungs-

historie zu berücksichtigen. Die Vorbeprobung von Hopfenflächen an ökologisch oder konventionell bewirtschafteten Standorten unter den Aspekten einer repräsentativen Erfassung der Belastungsverteilung ist Teil eines Monitoringprogramms, das mit der Expositionsermittlung die Erfassung empfindlicher Indikatorarten der jeweiligen Regenwurmzönosen (DIN ISO 2006, 2007) verbindet.

Da bereits aus früheren Untersuchungen im Hopfenbau (BAUCHHENS und ROSSBAUER, 1988) bekannt ist, dass neben den Pflanzenschutzmaßnahmen auch die Bodenbearbeitung und Bodenbegrünung großen Einfluss auf Regenwürmer nehmen können, gilt es mit Hilfe einer geeigneten Auswahl von Vergleichsflächen zu klären, welchen Einfluss der Kupfergehalt im Boden unter realistischen Bedingungen im ökologischen Landbau auf die Regenwurmzönose hat und ob die vorliegenden Ableitungen kritischer Bodenkonzentrationen von Kupfer (BELOTTI, 1997; BELOTTI, 1998; JÄNSCH et al., 2007) allgemeingültigen Charakter haben oder abhängig von der Bewirtschaftungsweise zu betrachten sind.

## 2 Methoden

Das Vorhaben gliedert sich in drei Phasen

- Planungs- und Abstimmungsphase:  
Auswertung der vorhandenen Literaturstudien zur Belastungssituation durch Kupfer im Wein-, Obst- und Hopfenbau (JKI, 2009; JÄNSCH und RÖMBKE, 2009). Erarbeitung eines Identdatenblatts (Fragebogens) zur Bestandsaufnahme (z.B. Nutzungsvorgang der Flächen, Bewirtschaftung, Cu-Einträge als PSM, Düngemaßnahmen). Damit war es möglich, die Bewirtschaftungshistorie jeder Fläche mit den analysierten Kupfer-Belastungen zu verknüpfen.
- Vorauswahl der Beprobungsflächen/Erhebung der Belastungsverteilung/chemisches Monitoring:  
Repräsentative Erfassung der Belastungsverteilung der Höhe der Kupfergesamtgehalte in Hopfenböden anhand von Felderhebungen. Beprobungen von Hopfenlagen in Hopfenbaugebieten in Baden-Württemberg (Anbaugbiet Tettang), Bayern (Anbaugebiete Hallertau, Hersbruck, Spalt) und Sachsen-Anhalt/Sachsen (Anbaugbiet Elbe-Saale).
- Versuchsauswertung, Berichterstattung und Unterbreitung von Vorschlägen zur Auswahl der Beprobungsflächen für ein biologisches Monitoring.

Die für eine spätere Freilandenerhebung der Regenwurmzönose vorzuschlagenden Beprobungsflächen sollen das Spektrum unterschiedlicher Kupferbelastungssituationen in der Kultur Hopfen abbilden und der Erarbeitung aktueller Daten zu den Auswirkungen der Kupfergehalte in Böden im Hopfenbau auf das Bodenleben im Sinne des „Strategiepapiers zum Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus“ dienen. Darauf basierend werden Standorte unterschiedlicher Kupfergehalte vorgeschlagen, die unmittelbar neben den

ökologischen und/oder konventionell bewirtschafteten Prüfflächen je Standort auch passende positive und negative Referenzflächen besitzen.

### 2.1 Zusammenarbeit mit Betrieben

Die Planungs- und Abstimmungsphase einschließlich einer abgestimmten Identifizierung relevanter Schichtungskriterien für den Erhebungsplan und die Vorauswahl der Beprobungsflächen erfolgte unter Einbindung des Hopfenpflanzerverbandes Hallertau e.V. und dem Hopfenforschungszentrum der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Die Fragebögen zur Bestandsaufnahme wurden gemeinsam mit den beteiligten Betrieben ausgefüllt.

### 2.2 Vorauswahl der Beprobungsflächen/Erhebung der Belastungsverteilung

Insgesamt wurden vier ökologisch bewirtschaftete und neun konventionell bewirtschaftete Hopfenlagen bestehend jeweils aus **Prüffläche**, **Referenzfläche** und **Kontrollfläche** zur Erfassung der Hintergrundbelastung von Kupfer je Standort beprobt. Der Einfluss von Kupferspritzungen bei *Pseudoperonospora*-Behandlungen auf die Cu-Bodengehalte am Hopfenstock und mittig in der Fahrgasse wurde durch ausgewählte Einzelbeprobungen von Prüfflächen berücksichtigt.

**Dauerbeobachtungsflächen.** Von der LfL wurden dem JKI unterschiedliche Dauerbeobachtungsflächen für die Probenahme vermittelt (Tab. 1).

### Begriffsbestimmungen zu den einzelnen Prüfgliedern.

„**Prüffläche**“: Die Prüffläche ist eine seit längerem in Nutzung stehende Fläche (Abb. 1).

„**Referenzfläche**“ Eine aus der Bewirtschaftung genommene Fläche, auch als Hopfenbrache bezeichnet, ist die Referenzfläche oder auch positive Kontrolle (Abb. 2)

„**Kontrollfläche**“ Eine nach bestem Wissen niemals hopfenbaulich genutzte Fläche ist die Kontrollfläche (neg. Kontrolle).

Mit dem Begriff Hintergrundfläche sollte im Zusammenhang mit der Definition der Prüfglieder vorsichtig

**Tab. 1. Beprobte Hopfen-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern**

Anbaugbiet	Code	Prüffläche	Referenzfläche
Spalt	BY_09	x	x
Hallertau	BY_04	x	
	BY_05		x
	BY_07	x	
	BY_08		x
	BY_10		x

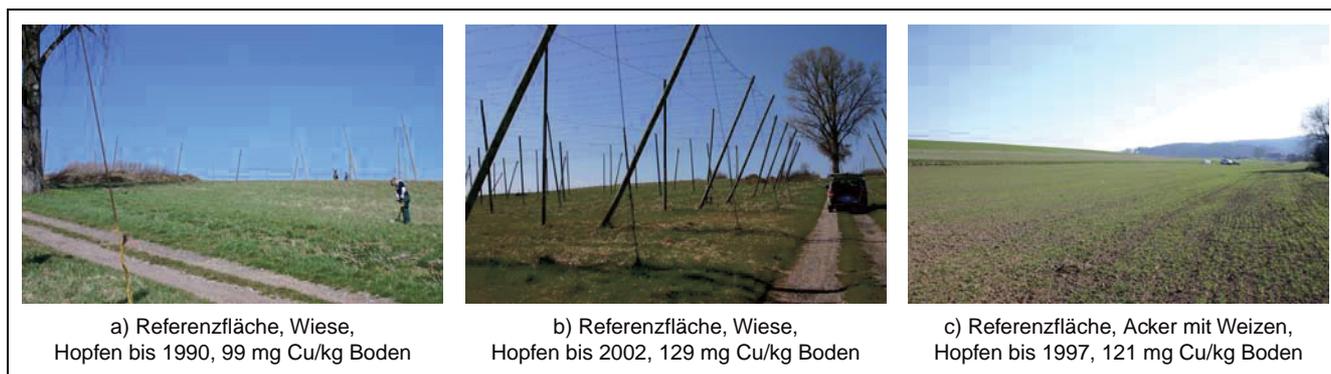
umgegangen werden, da vor den Cu-Gehaltsbestimmungen nicht bekannt ist, ob die Kontrollfläche überhaupt Gehalte aufweist, die im Bereich der Erwartungswerte möglicher geogener Hintergrundgehalte liegen. Kontrollflächen, deren Gehalte deutlich über dem Erwartungswert für die Hintergrundbelastung liegen, bleiben im Sinne der ersten Zuordnung zwar Kontrollflächen, scheidet aber als zukünftige Beprobungsflächen aus (Abb. 3).

### 2.3 Dokumentation der Beprobungsflächen

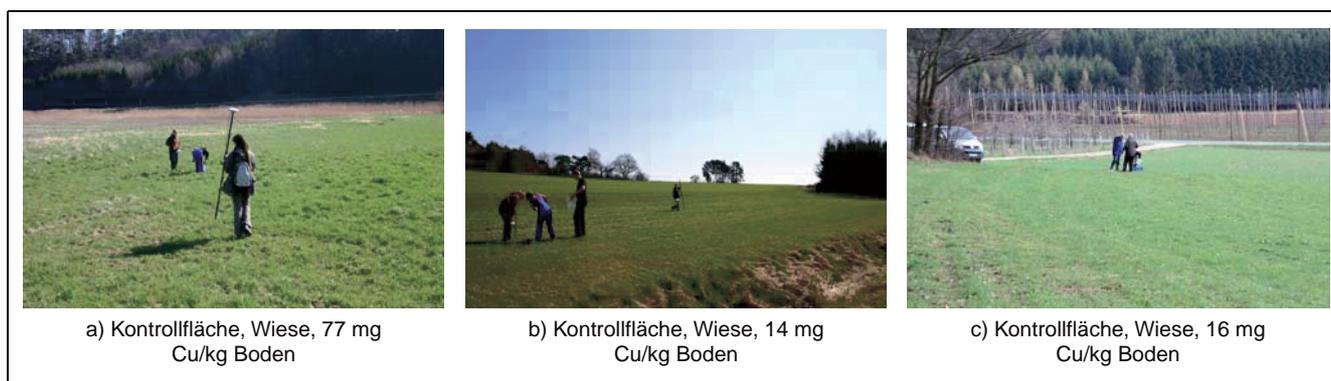
- Photographische Dokumentation, hochgenaue Einmessung von Beprobungspunkten im Gelände (GPS-Bemaßung) und Probenahme.
- Verknüpfung der analysierten Kupfer-Belastungen mit der Bewirtschaftungshistorie der Fläche über ein Datenblatt zur Bestandsaufnahme. Die Datenblätter mit den Angaben zur Bewirtschaftung, Flächennutzungsdauer, Fluggestaltung, und zu Kultur- und Pflanzenschutzmaßnahmen stellen neben den gewonnenen Analyse-daten eine wichtige Entscheidungshilfe für Vorschläge zur Auswahl geeigneter Monitoringflächen auf der Grundlage einer entwickelten ganzheitlichen Bewertungsmatrix dar.
- GIS-basierte räumliche Auswertung und Darstellung der Versuchsergebnisse inkl. Visualisierung beprobter Hopfenlagen.



**Abb. 1.** Prüfflächen mit unterschiedlicher Nutzungsdauer in einer bayerischen Hopfenlage im Bereich Hallertau. Analyisierte Cu-Gesamtgehalten für den Bodenhorizont 0–20 cm als Mittelwert der Fläche



**Abb. 2.** Referenzflächen (Hopfenbrachen) mit unterschiedlicher Stilllegungsdauer in verschiedenen bayerischen Hopfenlagen. Analyisierte Cu-Gesamtgehalte für den Bodenhorizont 0–20 cm als Mittelwert der Fläche.



**Abb. 3.** Kontrollflächen (Hintergrundflächen) in verschiedenen bayerischen Hopfenlagen. Analyisierte Cu-Gesamtgehalte für den Bodenhorizont 0–20 cm als Mittelwert der Fläche.

#### 2.4 Methodik zur Erhebung der Belastungsverteilung

Die Probenahme auf den Prüf- und Referenzflächen erfolgte in Anlehnung an die Regeln der Probenahme für landwirtschaftlich genutzte Böden (DIN ISO, 2003, 2004) durch diagonale Beprobung jeder Einzelfläche (fünf Punkte pro Fläche mit nachfolgender Einzelbestimmung der Gesamt- und bioverfügbaren Kupfergehalte sowie bodenkundlicher Basisparameter; Korngröße als Mischprobe der Einzelproben pro Fläche). Der Entwurf des „Leitfaden zur Koordinierung der Monitoringaktivitäten der Untersuchungen zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln (Stand: 26.04.2010)“ des BVL wurde berücksichtigt.

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

#### 2.5 Entnahme von Bodenproben für die Horizonte 0–5 cm, 0–20 cm und 5–20 cm

Bei den Beprobungen wurden von Prüf- und Referenzflächen an jeweils 5 in gleichen Abständen diagonal über die Fläche verteilten Probenahmestellen (Wiederholungen) Probenpaare von Bohrkernen aus 0–5 cm und 0–20 cm bzw. 0–5 und 5–20 cm Bodentiefe gewonnen.

Die Beprobungen erfolgten zwischen den Hopfenpflanzen auf dem angehäuften Boden. Die Bodenproben von Fahrgassen wurden in unmittelbarer Nähe zwischen den Pflanzreihen gezogen. Für den Bodenhorizont 0–5 cm erfolgte die Probenahme mit einem „Maulwurfbohrstock“ (s. Abb. 4 unten rechts – größere Bohrlöcher). Die Beprobung der Horizonte 0–20 cm und 5–20 cm erfolgte mit einem „Pürckheimer“ (s. Abb. 4 unten mittig – kleinere Bohrlöcher). Es erfolgten für jede Bodentiefe pro Probungspunkt drei Einstiche, die zu einer Mischprobe vereinigt wurden, um genug Bodenmaterial für die erforderlichen Analysen im Labor (Messproben) zur Verfügung zu haben.

Bei den Prüfflächen wurden zusätzlich die Fahrgassen beprobt. Bei den Kontrollflächen wurden die Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt. Insgesamt ergaben sich so 436 Messproben.

#### 2.6 Erzeugung von Analysedaten gewonnener Bodenproben im Labor

Insgesamt wurden Bodenproben von 22 Prüf-, 12 Referenz- und 16 Kontrollflächen aus den Bodenhorizonten 0–5 cm, 0–20 cm oder 5–20 cm zur Analyse der Gesamtgehalte in Königswasser und bodenkundlicher Basisparameter (pH-Wert, org. Substanz, C/N-Verhältnis) im Labor entnommen. Für jede Beprobungsfläche wird die



**Abb. 4.** Probenahme in Bodentiefen 0–5 und 0–20 cm auf konventionell bewirtschafteten Prüfflächen während der Frühjahrsbestellung (April 2010) in einem Hopfengarten im Hopfenbaugebiet Elbe-Saale.

Bodentextur (Korngröße) ermittelt. Die Beprobungen erfolgten im April/Mai 2010. Die Analyse der Gesamtgehalte in Königswasser (VDLUF, 1991a) erfolgte mittels ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) mit einem IRIS Intrepid®.

Die Korngröße wurde nach DIN, 1997 bestimmt. Die Bestimmung der Bodenart der Beprobungsstandorte erfolgte nach DIN 2008 im Dreieckskoordinatensystem.

Die Bestimmung von Kohlenstoff- (DIN ISO, 1996) und Stickstoffgehalt (DIN ISO, 1998) erfolgte mit einem CNS-Elementaranalysator Vario EL. Die Bestimmung des pH-Wertes (VDLUF, 1991b) wurde ebenfalls im Labor durchgeführt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Erhebungsumfang

Insgesamt wurden vier ökologisch bewirtschaftete und neun konventionell bewirtschaftete Hopfenlagen in die Belastungserhebung einbezogen und somit eine umfassende Abbildung der Belastungsverteilung erhalten (Tab. 2, Abb. 5).

Es wurden ausschließlich Praxisbetriebe beprobt, um den realen Gegebenheiten in der hopfenbaulichen Praxis zu entsprechen. In den Anbaugebieten Spalt und Elbe-Saale existierte 2010 kein ökologisch wirtschaftender Betrieb.

**Tab. 2. Anzahl beprobter ökologisch oder konventionell bewirtschafteter Hopfenbaubetriebe in deutschen Hopfenanbaugebieten**

Anbaugebiet	Hopfenbaubetriebe	
	ökologisch	konventionell
Tettngang	1	1
Hallertau	2	4
Hersbruck	1	1
Spalt		1
Elbe-Saale		2

### 3.2 Versuchsauswertung auf der Basis von Gesamtgehalten

Die Auswertung der vorliegenden Daten führt zu einer aktuellen Zustandserhebung für die deutschen Hopfenbaubetriebe auf der Basis des **Verbleibs von Kupfer** (Gesamtgehalten). Auf der Grundlage der bestimmten Gesamtgehalten können folgende Punkte geklärt werden:

a) Belastungssituation in den einzelnen deutschen Hopfenanbaugebieten

b) Vergleich Belastungssituation ökologisch/konventionell bewirtschaftete Hopfenflächen

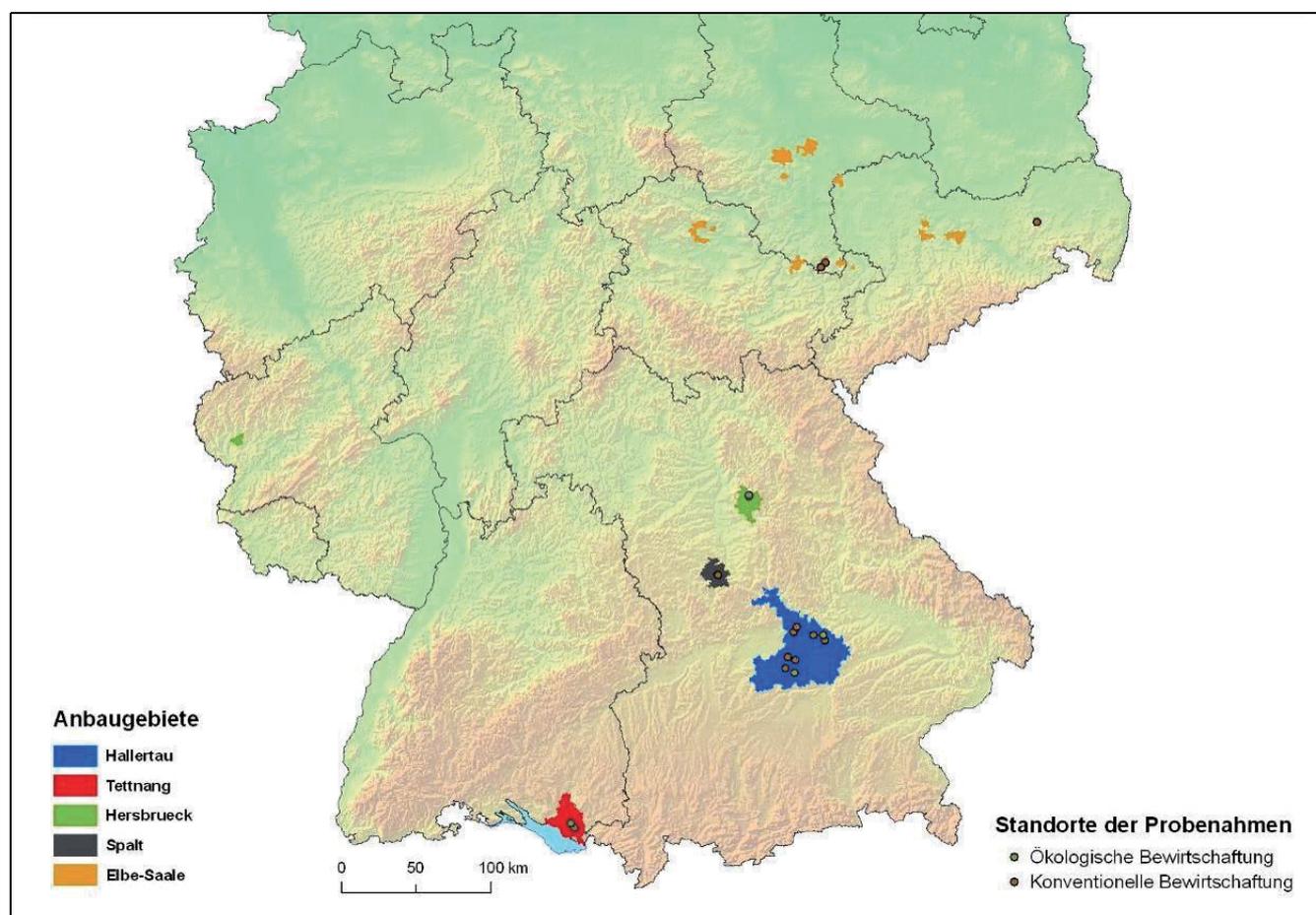
c) Belastungsverteilung auf Prüfflächen und Referenzflächen

d) Einfluss von Kupferanwendungen auf die Bodengehaltungen zwischen Hopfenstöcken und Hopfenreihen

### 3.3 Belastungssituation in deutschen Hopfenanbaugebieten

Aus Abb. 6 ist ersichtlich, dass die Kupfer-Belastung in den einzelnen Anbaugebieten unterschiedlich hoch ist. Die höchsten Kupfergehalte weisen hopfenbaulich genutzte Böden in Bayern auf. Ursache dafür sind Unterschiede in der Bewirtschaftungsdauer zwischen den einzelnen Anbaugebieten. So sind z.B. in dem Gebiet Elbe-Saale die Hopfenflächen erst seit 30 bis 60 Jahren bepflanzt. In den Anbaugebieten der neuen Bundesländer wurden aus ökonomischen und politischen Gründen über 40 Jahre keine Kupferpräparate im Hopfenbau eingesetzt. Kupferhaltige Pflanzenschutzmittel mussten aus dem nicht-sozialistischen Währungsgebiet importiert werden. Chronischer Devisenmangel führte daher zu Reglementierungen, wonach der Einsatz von Kupferpräparaten zur Bekämpfung von *Phytophthora infestans* im Kartoffelbau prioritär behandelt wurde.

Grundsätzlich gilt, dass beim Hopfenbau entlang der Pflanzenreihen jedes Frühjahr Dämme (sog. „Bifänge“)



**Abb. 5. Beprobte Betriebe in deutschen Hopfenanbaugebieten (jeweils mindestens eine Prüffläche + Referenzfläche + Kontrollfläche zur Erfassung der Hintergrundbelastung von Kupfer pro Standort).**

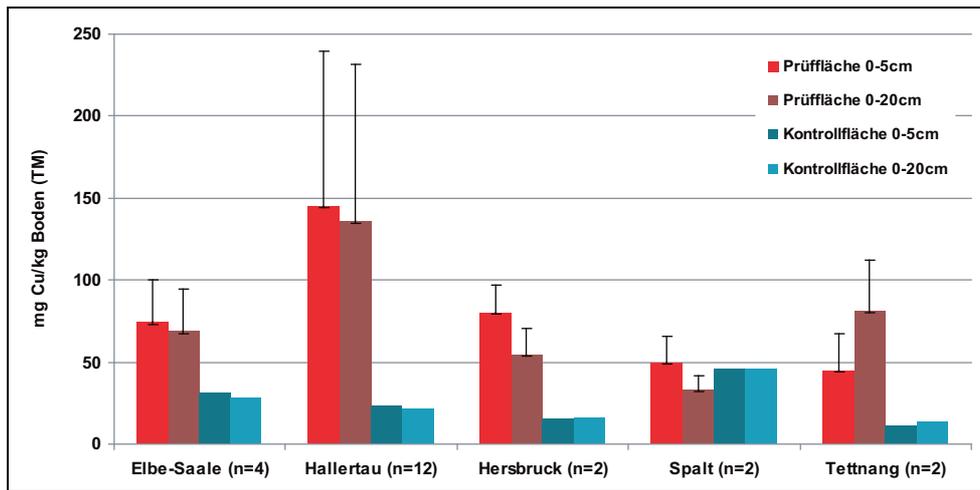


Abb. 6. Mittelwerte der Kupfergesamtgehalten auf Prüfflächen (n) im Vergleich zur bestimmten Hintergrundbelastung dazugehöriger Kontrollflächen deutscher Hopfenanbauggebiete für den Bodenhorizont 0–5 cm und 0–20 cm.

durch Ackern angehäuelt werden, wodurch der Boden verschoben wird. Die gezogenen Bodenproben stammen aus diesen Dämmen. Aus diesem Grund kann hier nicht, wie z.B. beim Weinbau, wo meist aufgrund Steillagenbewirtschaftung weniger Bodenbearbeitung stattfindet, angenommen werden, dass Kupfergehalte in den oberen 0–5 cm höher sind als in darunter liegenden Bodenschichten. Aus den Analysedaten ergibt ein Vergleich der Mittelwerte der Kupfer-Gesamtgehalten in Proben von Prüfflächen, dass in den meisten Hopfenanbaugebieten leicht erhöhte Kupfer-Gesamtgehalten in dem Bodenhorizont 0–5 cm gegenüber dem Bodenhorizont 0–20 cm vorliegen. Aufgrund des geringen Probenaufkommens und der Streuung sind die geringen Unterschiede unter statistischen Gesichtspunkten jedoch **nicht** signifikant. Eine mögliche Erklärung für die dargestellten tendenziellen Unterschiede wäre, dass die Pflanzdämme mit Oberboden der Fahrgassen angelegt werden. Somit könnte Kupfer aus dem Oberboden von Fahrgassen in den Oberboden von Pflanzreihen verschoben worden sein.

Der in Abb. 6 dargestellte Vergleich der Kupfergesamtgehalten von Prüfflächen mit der Hintergrundbelastung dazugehöriger Kontrollflächen – d.h. den natürlich vorhandenen Bodengehalten – gibt einen Hinweis auf die Kupferanreicherung über die Bewirtschaftungsdauer; während der Vergleich mit den Referenzflächen von Bedeutung für die spätere biologische Zustandserfassung ist.

Im Gebiet Spalt sind die beiden beprobten Prüfflächen erst seit 20 bzw. 35 Jahren in hopfenbaulicher Nutzung. Die in einem in der Nähe liegenden Hausgarten ermittelten vermeintlichen Hintergrundgehalte in Höhe von 46 mg Cu/kg Boden (TM) stammen vermutlich aus Bodenaushub von diesen Hopfenflächen.

Im Gebiet Tett nang sind die Kupfergesamtgehalten in der oberen Bodenschicht (0–5 cm) geringer als in tieferen Schichten (0–20 cm). Höhere Gehalte im Bodenhorizont 0–20 cm könnten darauf zurück zu führen sein, dass einige Hopfenpflanzer die Hopfenrebenhäcksel zurück auf die Hopfenfläche bringen. Diese Hopfenhäcksel sind durch Kupferspritzungen belastet. Beim Abbau des Blattguts dringt das Kupfer in den Boden ein.

Hier wurden insgesamt nur zwei Betriebe beprobt. Aufgrund der geringen Probenanzahl ist dieses Ergebnis nicht zwingend repräsentativ für das gesamte Hopfenanbaugebiet.

**3.4 Belastungsverteilung auf Prüf- und Referenzflächen**  
Die Häufigkeitsverteilung gemessener Cu-Gesamtgehalten (mg Cu/kg TM Boden) in den Proben der Prüf- und Referenzflächen wurde für den Bodenhorizont 0–20 cm bei einer Klassenbreite von 50 mg/kg bestimmt (Abb. 7).

Die in Nutzung stehenden Hopfenflächen sind ein echter Gradmesser für die Belastungsverteilung. In die Cu-Bodengesamtgehalten gehen der Zeitraum des Cu-Eintrags durch *Pseudoperonospora*-Behandlungen, die aktuelle Bewirtschaftungsweise und Kulturführung sowie Bodenverschiebungen (Flurbereinigungen und Flurneueordnungen) ein.

Die aus der Bewirtschaftung genommenen Hopfenbrachen (Referenzflächen) liefern einen Überblick über die Gesamtbelastungssituation und bilden ein Zeitfenster aus der Vergangenheit ab.

Die Säulenhöhe in Abb. 7 steht für die relative Häufigkeit, mit der Cu-Gehalte einer bestimmten Klassenzugehörigkeit in Bodenproben gemessen wurden. 75,5% aller analysierten Proben des Bodenhorizonts 0–20 cm von **Prüfflächen** liegen im Bereich 0–150 mg Cu/kg TM Boden.

73,3% aller analysierten Proben des Bodenhorizonts 0–20 cm von **Referenzflächen** liegen im Bereich 0–150 mg Cu/kg TM Boden.

Ein Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilung analysierter Gesamtgehalten zwischen Prüf- und Referenzflächen zeigt, dass im Belastungsbereich 0–300 mg Cu/kg TM Boden vergleichbare Gehalte nachgewiesen wurden. Höhere Gesamtgehalten (Belastungsbereich 450–700 mg Cu/kg TM Boden) wurden ausschließlich bei Referenzflächen nachgewiesen, deren historische Bewirtschaftungsgeschichte entsprechend den vorliegenden Datenblättern vor mehr als 100 Jahren begann und die seit Jahrzehnten einer hopfenbaulichen Nutzung entzogen sind.

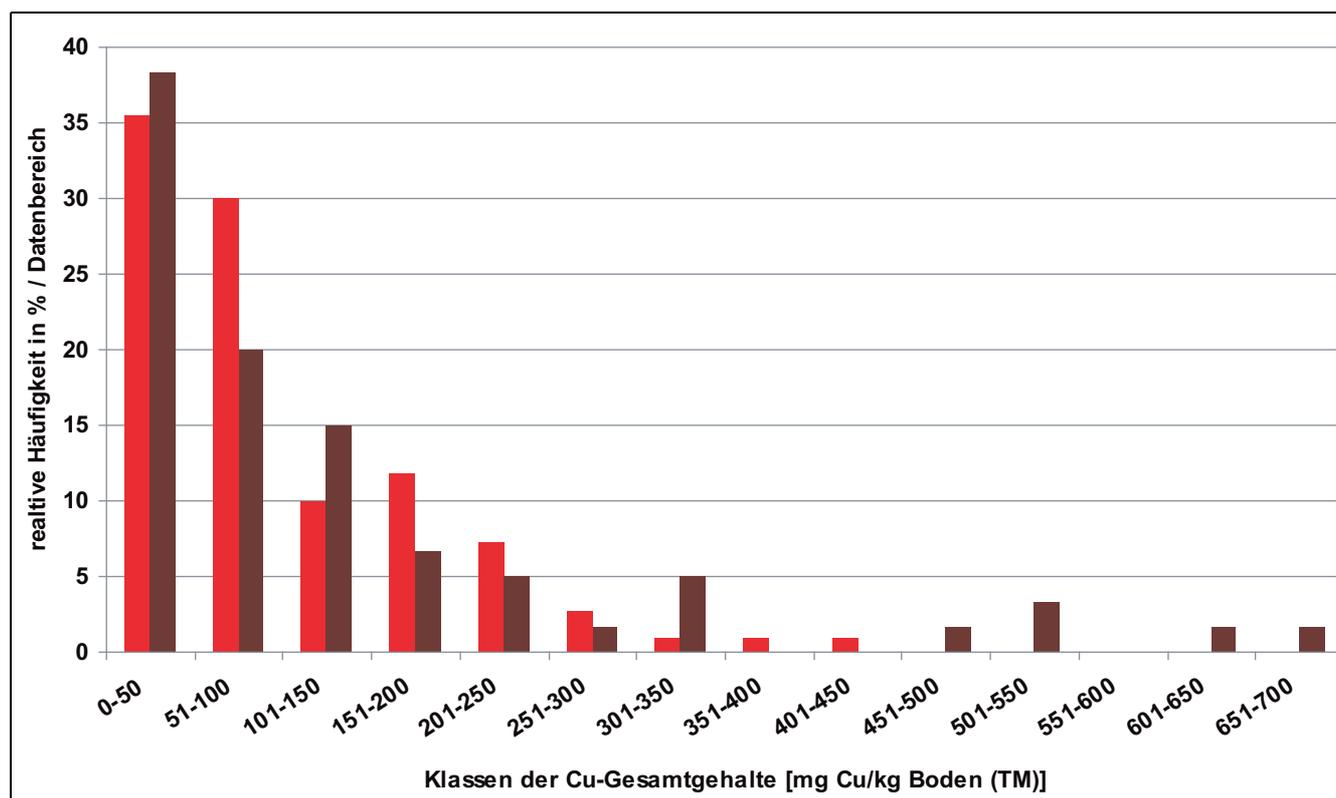


Abb. 7. Relative prozentuale Häufigkeitsverteilung gemessener Cu-Gesamtgehalte (mg Cu/kg TM Boden) in den Proben der Prüfflächen (n = 110) und Referenzflächen (n = 60) für den Bodenhorizont 0–20 cm bei einer Klassenbreite von 50 mg Cu/kg. n = Anzahl Bodenproben.

Dies bedeutet, dass hohe Kupfergaben aus der Vergangenheit (ENGELHARD, 2008) resultieren (bis 1965) und hauptverantwortlich für die Höhe der jetzt bestehenden Belastungssituation sind.

Die von ENGELHARD und Mitarbeitern während des Kupferfachgesprächs 2008 vorgestellten Untersuchungen zur Reduzierung des Einsatzes kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel im Zeitraum 1965 bis 2007 (Tab. 3) werden mit unserem Befund bestätigt.

### 3.5 Kupferanreicherung im Zeitverlauf

Dass Kupfer im Boden nicht abgebaut werden kann und sich anreichert, wenn die jährlich aufgebrachte Kupfermenge den jahresdurchschnittlichen Entzug über Erntegut übersteigt, dürfte unbestritten sein. Diese Tatsache wird auch mit den durchgeführten Belastungserhebun-

gen bestätigt (s. Abb. 8). Es bleibt somit noch der Frage nachzugehen, über welchen Zeitraum wie viel Kupfer auf den Prüfflächen appliziert wurde. Bei langjähriger hopfenbaulicher Nutzung (insbesondere  $\geq 100$  Jahre) liegen dazu keine Angaben vor. Aus aktuellen Arbeiten (ENGELHARD, 2008) geht hervor, dass bis 1965 bis zu 60 kg Kupfer pro Hektar und Jahr im Hopfenbau zur Bekämpfung von Schaderregern eingesetzt wurde.

Abb. 8 zeigt die Anreicherung von Kupfer in Böden von Prüfflächen für den Bodenhorizont 0–20 cm in Abhängigkeit der Nutzungsdauer. Der Anstieg in den bestimmten Kupfergesamtgehalten zeigt, dass in der Vergangenheit beträchtliche Kupfermengen auf die Hopfenflächen appliziert worden sind. Bei Prüfflächen, die erst seit 10 Jahren in hopfenbaulicher Nutzung sind, wurden Gesamtgehalte analysiert, die unter 60 mg Cu kg TM

Tab. 3. Einsatz kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel im Hopfen in Deutschland (nach ENGELHARD, 2008)

Jahr	Anzahl Spritzungen mit Kupfer	Produkt kg/ha	Kupfer kg/ha	Produkte für Hopfen in Deutschland ca. in Tonnen
1965	15 – 17	130	60	1.200 (9.000 ha)
1975	9 – 11 plus 5 × „andere“	85	38,5	1.700 (20.000 ha)
1995	2 – 4	35	15,7	630 (18.000 ha)
2007	1,2 (aus Schlagkarteien)	7,5	3,4	160 (17.800 ha)

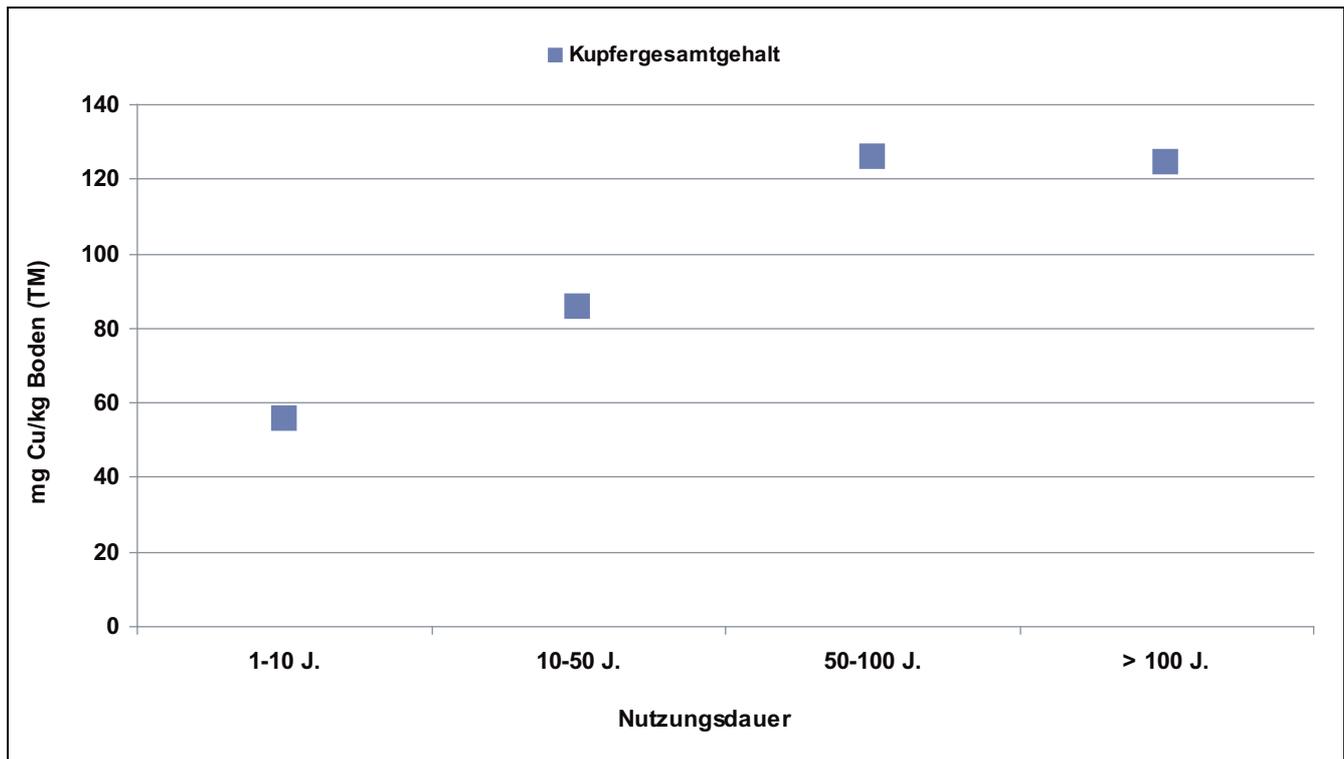


Abb. 8. Anreicherung von Kupfer in Böden von Prüfflächen in deutschen Hopfenbaugebieten in Abhängigkeit der Nutzungsdauer auf der Grundlage der Cu-Gesamtgehalte für den Bodenhorizont 0–20 cm (mg Cu/kg TM Boden) als Mittelwerte jeder Prüffläche.

Boden liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Aufwandmengen an Cu-Präparaten in den letzten Dekaden deutlich zurückgegangen sind.

Bei Anwendung von Kupferpräparaten in der 30fachen Aufwandmenge in den 60er Jahren und ihres Verbleibs auf der Zielfläche wäre mit deutlich höheren Cu-Gesamtgehalten zu rechnen (Abb. 8). Die Abhängigkeit der Nutzungsdauer der beprobten Hopfenprüfflächen müsste sich in einem exponentiellen Anstieg der Kupfer-Bodengehalte dokumentieren; es zeigen sich jedoch im mittleren (10–50 Jahre) und oberen Bereich (50 – >100 Jahre) Abweichungen von der Ideallinie.

Da in den meisten Lagen tiefgründige Bodenbearbeitung (Grubbern) zwischen den Hopfenreihen stattfindet, ist dieser Befund zunächst nur unter der Annahme erklärbar, dass in verschiedenen Hopfenlagen die bei der Ernte als Abfall entstehenden Hopfenrebenhäcksel besonders in der Vergangenheit auf benachbarte Flächen (z.B. Hopfenbrachen) ausgebracht wurden.

### 3.6 Schwermetallbelastungen (As, Cr, Pb, Zn, V) auf den Beprobungsflächen

Neben Kupfer wurde auf Prüf- und Referenzflächen As, Cr, Pb, Zn, und V eingetragen. Die Gehalte an diesen Schwermetallen in den beprobten Böden resultieren aus der Bewirtschaftungshistorie der Hopfenlagen (Abb. 9).

Von 1910 bis Mitte der 1960er-Jahre wurden Bleiarsenate  $[PbHAsO_4, Pb_5OH(AsO_4)_3]$  als Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung schädlicher Insekten verwendet (PAUL, 1981).

Zum Anbau der Raumkultur Hopfen werden in Deutschland seit Ende des 19. Jahrhunderts grundsätzlich 7 m hohe Drahtgerüstanlagen verwendet, die überwiegend von mit Holzschutzmitteln behandelten Holzmasten getragen werden. Sehr oft waren die Hölzer früher zum Schutz gegen zerstörende Fäulepilze und Insekten mit Kupfer-Chrom-Arsenaten (Cu-Cr-As) oder Kupfer-Zink-Arsenaten (Cu-Zn-As) imprägniert. Auch modernen, chromatfreien Imprägniersalzen liegt noch immer Kupfer als Basisbiozid zugrunde. Zahlreiche Autoren haben in der Vergangenheit bereits auf den Eintrag der Rückstände dieser Holzschutzmittel in Sonderkulturböden hingewiesen (ISLAM et al., 2003; VOGELER et al., 2005; ROBINSON et al., 2006).

Der Hopfen klettert an verzinkten Eisendrähten hoch. Der Grad der Kontamination der Hopfenböden durch gelöstes Zink aus den Eisendrähten ist abhängig von der Art der Zink-Legierung, dem Bodentyp und dem Zeitraum ihrer Verwendung. Bisherige Untersuchungen z.B. im Weinbau haben gezeigt, dass die Zink-Bodengehalte speziell in der Nähe der dort verwendeten Stickle sehr hoch sein können (2500–3000 mg Zn/kg Boden) und negative Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum nicht ausgeschlossen werden können (LVWO Weinsberg, 2009).

Vanadium wird oft in Legierungen in Verbindung mit Eisen eingesetzt. Vanadium-Verbindungen spielen eine bedeutende Rolle bei unterschiedlichsten biologischen Prozessen (REHDER, 1991). Bei Wachstumsversuchen in Lysimetern zeigten landwirtschaftliche und gärtnerische

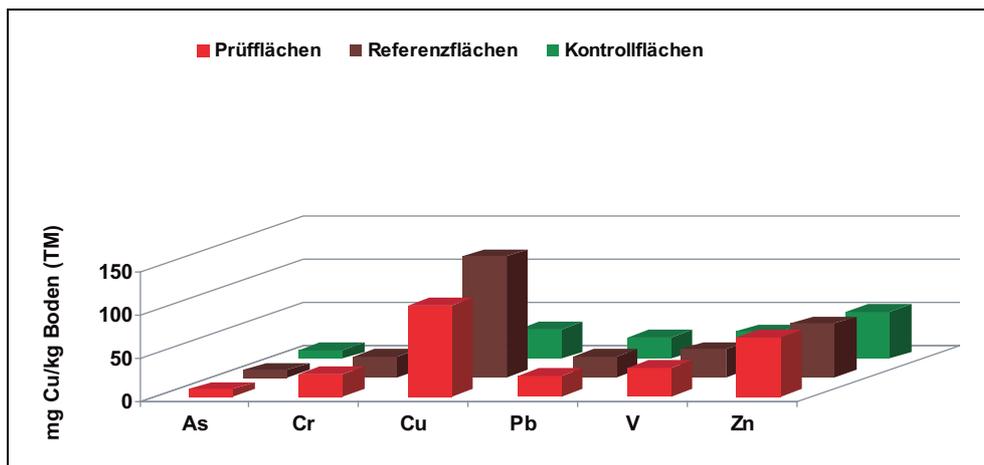


Abb. 9. Mittelwerte von analysierten Schwermetallgehalten auf allen beprobten Flächen für den Bodenhorizont 0–20 cm.

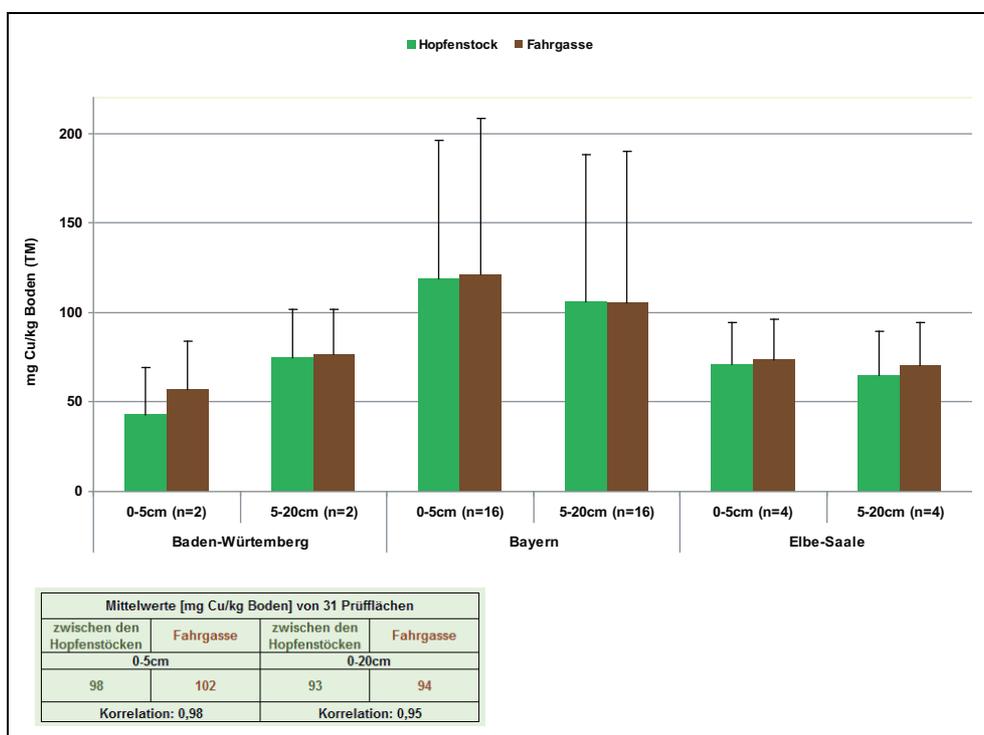


Abb. 10. Vergleich von analysierten Kupfergesamtgehalten auf allen beprobten Prüfflächen (n) für die Bodenhorizonte 0–5 und 0–20 cm (Mittelwerte mit Standardabweichung).

Kulturpflanzen wie Sellerie (*Apium graveolens* L.), Tabak (*Nicotiana tabacum* L.), Zuckerrübe (*Beta vulgaris* var. *altissima* L.), Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) und Weißkohl (*Brassica oleracea* L.) Chlorosen und/oder Wuchsdepressionen bei Bodengesamtgehalten > 50 mg V/kg Boden (STRUMPF und PESTEMER, 2003).

Aufgrund unterschiedlicher Bewirtschaftungsvergangenheit differieren die Schwermetallbodengehalte von Fläche zu Fläche. In welcher Form diese komplexen Metallverbindungen mit den Bodenbestandteilen vergesellschaftet sind, wie hoch ihre Bioverfügbarkeit ist und welchen Einfluss sie auf die Regenwurmzönose ausüben, bedarf weiterführender Untersuchungen.

### 3.7 Einfluss von Kupferanwendungen auf die Bodengehalte bei Fahrgassen und Pflanzreihen

Neben der Fragestellung, ob die Verteilung der Kupfergehalte auf der Prüffläche homogen oder inhomogen ist und was mögliche Ursachen bei nachgewiesenen Inhomogenitäten sein können, ist zu prüfen, ob signifikante Unterschiede bei den Cu-Bodengehalten aus Proben, die nahe der Hopfenstöcke entlang den Pflanzreihen gezogen wurden und solchen, die aus dem mittleren Bereich der Fahrgassen zwischen den Hopfenreihen am selben Standort stammen, nachgewiesen werden können. Kupferapplikationen erfolgen zielgerichtet auf die Hopfenblätter; Kupferanteile können aber nach Laubfall auch zwischen die Hopfenreihen gelangen und

**Tab. 4. Vorschläge zur Auswahl geeigneter Hopfenlagen für ein sich anschließendes Monitoring der Regenwurmzönose anhand des entwickelten Kriterienkatalogs. Mittelwerte in mg Cu/kg TM Boden**

Anbaubereich	Flächencode	Prüfflächenbewirtschaftung			Referenzflächen		Kontrollflächen	
		mg Cu/kg TM Boden (Mittelwert je Fläche)						
		ökol.	konv.					
Elbe-Saale	ES_01	97	72	73	<u>Acker</u>	23	<u>Wald</u>	
	ES_02	74	32	33	<u>Acker</u>	19	Wiese	
Hersbruck	BY_03	46	63	26	Wiese	16	Wiese	
Spalt	BY_09	32	34	16	Grünland	46	Hausgarten	
Hallertau	BY_01 + 11	331	216	219	121	<u>Acker</u>	77	Wiese
	BY_02 + 12	110	37	82	31	<u>Acker</u>	25	Wiese
	BY_04 + 05	168	209	31	45	<u>Acker</u>	14	Wiese
	BY_07 + 08	113			99/129	Wiese	35	Ackerrand
	BY_10	88	33		248	<u>Acker</u>	10	<u>Acker</u>
Tettngang	BW_01 + 02	52	109	571	Wiese (unklare extrem hohe Verfügbarkeit)	13	<u>Wald</u>	

durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen verteilt werden (Abb. 10).

Bei einem Vergleich der ermittelten Cu-Gesamtgehalte zwischen den Hopfenstöcken und den Fahrgassen der jeweiligen Anbaubereiche können bei gleichen Beprobungstiefen keine signifikanten Gehaltsunterschiede nachgewiesen werden. Bodenbearbeitungsmaßnahmen können zu einer Nivellierung der Kupfer-Bodengesamtgehalte zwischen den Hopfenpflanzen führen. Die Gesamtkupfergehalte in der Fahrgasse unterscheiden sich nicht von den Gehalten am Hopfenstock.

In Abhängigkeit der Bewirtschaftungsgeschichte der einzelnen Prüfflächen können die Gesamtgehalte bei den Probenahmestellen stark differieren, so dass eine sinnvolle Bewertung von Belastungsspitzen nur auf Basis von Mittelwerten und bezogen auf die jeweilige Fläche erfolgen kann. Bei Betrachtung der Standardabweichungen der Belastungswerte wird deutlich, dass statistische Signifikanzen in den Gehaltsunterschieden zwischen den beiden Bodenhorizonten bei dem geringen Probeaufkommen ebenfalls nicht nachweisbar sind.

Als Erklärung für die geringen Unterschiede in den Cu-Gehalten beider Bodenhorizonte lässt sich heranziehen, dass auf den Prüfflächen jährlich Bodenbearbeitung erfolgt, daher auch keine Humusschicht entsteht und der Horizont bis 20 cm Tiefe einer ständigen Verjüngung (Homogenisierung) unterliegt.

Aus den gewonnenen Datensätzen wird geschlossen, dass auf Sonderkulturflächen mit wendender

Bodenbearbeitung und stetiger Bodenverschiebung – wie z.B. im Hopfenbau – die zu beprobenden Bodentiefe von 0–20 cm, welche den „Regenwurmhorizont“ abbildet, als Untersuchungsstandard zum Belastungszustand von landwirtschaftlich genutzten Flächen infolge von Anwendungen mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln ausreichend repräsentativ ist.

#### 4 Ausblick

Anhand der in der Vorbeprobung erhobenen Daten zur Belastungssituation, Standortbeschreibung und Bewirtschaftungsgeschichte werden drei Lagen vorgeschlagen, wo ein biologisches und chemisches Monitoring durchgeführt werden könnte. Je Standort sollen ökologisch und/oder konventionell bewirtschaftete Prüfflächen, eine seit längerem aus der Nutzung genommene Hopfenfläche mit Kupferaltlast (positive Kontrolle) und eine Fläche ohne anthropogene Kupferbelastung (negative Kontrolle) einbezogen werden. Im Rahmen dieses Monitorings soll das Artenvorkommen von Lumbriciden an den verschiedenen Standorten erfasst werden.

Auf der Grundlage einer ganzheitlichen Bewertungsmatrix werden auf Grundlage identifizierter Kriterien wie Flurgestaltung, Nutzung seit Jahren, Kupfergesamtgehalte (mg Cu/kg Boden) inkl. Cu-Einträge durch PSM pro Jahr, Bewirtschaftung/Begrünung, Bodenart, org. Substanz (%) und unter Berücksichtigung der geographi-

sche Lage (Klima) Vorschläge zur Auswahl von geeigneter Monitoringflächen unterbreitet.

Dabei sollten Hopfenlagen präferiert werden, bei denen auf dazugehörigen Referenz- und Kontrollflächen keine Bodenbearbeitung stattfindet, z.B. Wiesen, um einen störenden Einfluss von Bearbeitungsmaßnahmen auf Abundanzen der Regenwurmzönose ausschließen zu können. Auch bei vorhandenen Kontrollflächen mit Laubmischwaldbestand dürfte das Artenspektrum der Regenwurmzönose gegenüber Prüfflächen differieren. Nicht geeignet sind auch Kontrollflächen mit Nadelmischwald, da sich hier zusätzlich die Boden-pH-Werte von denen bei Prüfflächen unterscheiden (alle ungünstigen Faktoren sind in Tab. 4 unterstrichen markiert).

### 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 Hopfenbodenproben.

### Literatur

- BAUCHHENS, J., G. ROSSBAUER, 1988: Bodenfruchtbarkeit in Hopfengärten – festgestellt anhand des Regenwurmbesatzes –, Hopfen-Rundschau, 44-45.
- BELOTTI, E., 1997: Beeinträchtigung des Bodens als Filter und Puffer für Schadstoffe gegenüber endogäischen Regenwürmern. Forschungsprojekt im Auftrag des Landes Baden-Württemberg, Abschlussbericht, 72 S. + Anhang.
- BELOTTI, E., 1998: Assessment of a soil quality criterion by means of field survey. *Applied Soil Ecology* **10**, 51-63.
- DIN, 1996: DIN ISO 10694. Katalytische Rohrverbrennung unter Sauerstoffzufuhr bei hohen Temperaturen.
- DIN, 1997: DIN 19683. 2. Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Physikalische Laboruntersuchungen, Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat.
- DIN, 1998: DIN ISO 13878. Katalytische Rohrverbrennung unter Sauerstoffzufuhr bei hohen Temperaturen.
- 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 23611-1, 2007-02: Bodenbeschaffenheit – Probenahme von Wirbellosen im Boden – Teil 1: Handauslese und Formalinextraktion von Regenwürmern (ISO 23611-1, 2006).
- DIN, 2008: DIN 4220. Bodenkundliche Standortbeurteilung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen).
- ENGELHARD, B., 2008: Strategien zur Reduzierung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln im Hopfen – ohne diese Produkte kein Öko-Hopfen. Kupferfachgespräch, Julius Kühn-Institut Berlin.
- ISLAM, A., A.J.M.S. KARIM, H.M. KHALED, B.K. MITRA, M.A.M. MIAH, 2003: Arsenic sorption characteristics of four agricultural soils of Bangladesh. *Asian Journal of Plant Sciences* **2**, 1149-1152.
- JÄNSCH, St., J. RÖMBKE, H.-J. SCHALLNASS, K. TERYTZE, 2007: Derivation of soil values for the path 'soil-soil organisms' for metals and selected organic compounds using species sensitivity distribution. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **14** (5), 308-318.
- JÄNSCH, St., J. RÖMBKE, 2009: Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden“ [Vorhaben UBA Z 6 – 93 401/43 – (FKZ 360 03 040)], UBA-Texte 10/09, SS. 67; ISSN 1862-4804.
- LVWO Weinsberg, 2009: „Zinkeintrag durch Stahlpfähle“ [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1040038\\_11/index.html](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1040038_11/index.html). Letzter Zugriff: 7. August 2009.
- PAUL, C., 1981: Arsen zur Schädlingsbekämpfung im Weinbau 1904-1942. *Schriften zur Weingeschichte*, Nr. 58, Wiesbaden, ISSN 0302 0967.
- REHDER, D., 1991: Bioorganische Chemie des Vanadiums. *Angew. Chem.* **103**, 152-172.
- REICHMUTH, C., 2009: Kupfergehalte und -einträge in landwirtschaftlich genutzten Böden – ein Statusbericht. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (4), 109 ff.
- RIEPERT, F., A. STEINDL, R. EIBACH, M. MAIXNER, C. 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.
- ROBINSON, B.H., M.M. GREVEN, S.R. GREEN, S. SIVAKUMARAN, P. DAVIDSON, B.E. CLOTHIER, 2006: Leaching of copper, chromium and arsenic from treated timber vineyard posts in Marlborough, New Zealand. *Science of the Total Environment* **364**, 113-123.
- STRUMPF, T., W. PESTEMER, 2003: Total and Plant Available Contents of Nutrient and Noxious Elements in Urban Soils and their Transfer Rates to Plants. Poster. „Second International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture“, 27. – 29. August 2003, Berlin.
- VDLUF, 1991a: Methodenbuch, Band I. Die Untersuchung von Böden, A 2.4.3.1. Darmstadt, VDLUFA-Verlag; DIN, 1983: DIN 38414, Teil 7. Aufschluss mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen. Berlin, Beuth Verlag.
- VDLUF, 1991b: Methodenbuch, Band I. Die Untersuchung von Böden, A 5.1.1. Darmstadt, VDLUFA-Verlag.
- VOGELER, I., S.R. GREEN, M.M. GREVEN, B.H. ROBINSON, C.W. VAN DEN DUSSEL, B.E. CLOTHIER, 2005: Environmental risk assessment of CCA leaching from treated vineyard posts. *HortResearch Client Report No. 17659*, pp. 44.