

Kupfergehalte in deutschen Obstbauregionen und deren Auswirkungen auf Regenwürmer

Die Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel ist seit mehr als 100 Jahren nicht aus dem Obstanbau und anderen Dauerkulturen wegzudenken. Während die konventionellen Obstbaubetriebe auf chemisch-synthetische Mittel zur Pilzbekämpfung zurückgreifen können, stehen ökologisch wirtschaftenden Betrieben keine praktikablen Alternativen zur Bekämpfung von Schorf, Baumobstkrebis oder der Kragenfäule zur Verfügung. Die jahrzehntelange Anwendung kupferhaltiger Fungizide hinterlässt jedoch Spuren: Im Boden wird Kupfer, wie andere Schwermetalle, angereichert. Kupfer ist persistent und steht deshalb auf der Liste der Substitutionskandidaten. Für die Wiederzulassung und für die weiterhin sichere Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel sind daher Folgenabschätzung und Risikomanagement essentiell. Von besonderer Bedeutung sollten dabei die Erkenntnisse aus der fast 100-jährigen Anwendung sein! Wie viel Kupfer finden wir in den Böden? Hat diese Anreicherung unerwünschte Auswirkungen auf das Bodenleben? Diesen Fragen wollen wir nachgehen und insbesondere auch die Erfahrungen aus dem Weinbau berücksichtigen.

Kupfergehalte im Obstbau

Vor dem Hintergrund der erneuten Zulassung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel wurden am JKI in den Jahren 2009 bis 2014 umfangreiche Freilandstudien auf Sonderkulturflächen zum Beispiel im Obst- und Weinbau durchgeführt. In Zusammenarbeit mit der Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V. (FÖKO), den Landwirtschaftskammern und Obstbau-Beratungsdiensten der Bundesländer wurden 58 ökologisch und 29 konventionell bewirtschaftete Obstbaubetriebe ausgesucht. An fünf Stellen pro Fläche im Bodenhorizont 0–5 und 5–20 cm wurden die bodenphysikalischen Kenngrößen pH-Wert, organische Bodensubstanz und C/N-Verhältnis sowie Kupfergesamtgehalte im Königswasserextrakt (Cu_{KW}) und mobile Kupfergehalte im Ammoniumnitratextrakt ($\text{Cu}_{\text{NH}_4\text{NO}_3}$) erfasst. Die im Obstbau ermittelten Gesamt- und mobilen Gehalte liegen im Bodenhorizont 5–20 cm zwischen 7 und 97 mg Cu_{KW} /kg Boden bzw. zwischen 0,01 und 0,73 mg $\text{Cu}_{\text{NH}_4\text{NO}_3}$ /kg Boden, immer bezogen auf die Trockenmasse (TM). Regionale Unterschiede der einzelnen Obstbauregionen sind überwiegend auf die unterschiedliche Vornutzung, Bewirtschaftungsdauer oder verschiedene Bodenbearbeitungsmaßnahmen zurückzuführen. In den Regionen am Bo-

densee, im Neckartal und in der Rheinebene wurden Flächen mit einbezogen, welche zum Teil seit mehr als 100 Jahren mit Sonderkulturen in Bewirtschaftung sind und auf denen in früheren Jahren Wein oder Hopfen angebaut wurde. Gerade bei diesen besonders alten Obstbaulagen finden sich höhere Kupfergesamt- und mobile Gehalte [Tab. 1].

Kupfergehalte im Weinbau

Während im Obstbau eine rein chemische Zustandserhebung über die aktuellen Kupfergehalte und bodenphysikalischen Kenngrößen erhoben wurde, erfolgte in den Weinbaugebieten darüber hinaus eine biologische Bestandsaufnahme zur vorhandenen Artenanzahl, Abundanz und Biomasse epigäischer, endogäischer und anözischer Regenwurmarten. Im Rahmen dieser JKI Freilandstudie wurden unter Einbindung des ECOVIN Bundesverband Ökologischer Weinbau e.V., Naturland e.V. und Bioland e.V. 25 ökologisch und fünf konventionell bewirtschaftete Weinbauflächen ausgewählt. Die Bodenanalysen und Regenwurmhebungen erfolgten an jeweils vier Stellen pro Fläche in einem Bodenaushub von 0,25 m² im Bodenhorizont bis 20 cm. Die im Weinbau ermittelten Gesamt- und mobilen Gehalte liegen zwischen 14 und 252 mg Cu_{KW} /kg Boden bzw. zwischen 0,03 und

1,42 mg $\text{Cu}_{\text{NH}_4\text{NO}_3}$ /kg Boden bezogen auf die Trockenmasse. Die Kupfergehalte resultieren aus Bewirtschaftungsdauer, aktueller Bewirtschaftungsweise sowie Flächenhistorie (z. B. Flurbereinigungen, Kulturanbau, Stilllegung), welche ebenfalls regional sehr verschieden sind [Tab. 2]. Auch hier zeigen langjährig weinbaulich genutzte Flächen, d. h. Flächen mit einem Nutzungszeitraum von mehr als 100 Jahre, in der Regel deutlich höhere Kupfergehalte als jünger genutzte Anbauflächen. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben konnten innerhalb beider Kulturen nicht festgestellt werden [Abb. 1]. Gerade im Weinbau ist die große Streuung der Kupfergehalte ökologisch bewirtschafteter Flächen darauf zurückzuführen, dass zum Teil der ökologischen Bewirtschaftung eine langjährige konventionelle Bewirtschaftung mit historisch bedingt hohen Kupfergaben vorausgegangen ist.

Biologische Verfügbarkeit von Kupfer im Boden

Ausschlaggebend für die Aufnahme von Kupfer durch Pflanzen und Bodenlebewesen ist der mobile oder bioverfügbare Kupfergehalt. Dieser steigt mit zunehmendem Kupfergesamtgehalt im Boden an [Abb. 2]. Darüber hinaus wird der mo-

Obstbauregion	Anzahl der Flächen (n=87)	Kupfergesamtgehalte				Mobile Kupfergehalte			
		mg Cu _{KW} / kg Boden (TM)				mg Cu _{NH4NO3} / kg Boden (TM)			
		MW	± SD	Min	Max	MW	± SD	Min	Max
Ahrweiler	3	31	± 14	21	47	0,08	± 0,06	0,01	0,14
Bodensee	22	40	± 22	17	97	0,15	± 0,14	0,04	0,73
Franken	3	39	± 19	23	49	0,12	± 0,05	0,07	0,17
Neckartal	11	32	± 20	14	86	0,13	± 0,10	0,02	0,36
Niederelbe	16	50	± 20	16	82	0,11	± 0,09	0,01	0,37
Rheinebene	2	30	± 5	27	33	0,12	± 0,02	0,10	0,13
Rheinland	7	33	± 21	10	72	0,10	± 0,07	0,03	0,23
Rheinland Pfalz	7	25	± 6	18	32	0,10	± 0,06	0,05	0,21
Westfalen-Lippe	16	25	± 13	7	45	0,07	± 0,04	0,01	0,13

Tab. 1: Kupfergehalte im Obstbau (Bodenhorizont 5 – 20 cm)

Weinbauregion	Anzahl der Flächen (n=30)	Kupfergesamtgehalte				Mobile Kupfergehalte			
		mg Cu _{KW} / kg Boden (TM)				mg Cu _{NH4NO3} / kg Boden (TM)			
		MW	± SD	Min	Max	MW	± SD	Min	Max
Baden	5	121	± 82	27	225	0,64	± 0,52	0,14	1,42
Franken	2	55	± 24	38	72	0,06	± 0,03	0,04	0,08
Mosel	5	184	± 87	29	235	0,64	± 0,35	0,11	1,06
Mittelrhein	3	94	± 39	54	131	0,19	± 0,05	0,14	0,22
Nahe	2	77	± 1	76	77	0,22	± 0,02	0,21	0,24
Pfalz	2	127	± 74	74	179	0,37	± 0,18	0,25	0,50
Rheingau	1	149				0,32		0,32	0,32
Rheinhessen	4	71	± 42	42	133	0,25	± 0,24	0,09	0,60
Sachsen	2	25	± 16	14	36	0,10	± 0,03	0,03	0,17
Württemberg	4	148	± 78	78	252	0,50	± 0,36	0,16	0,93

Tab. 2: Kupfergehalte im Weinbau (Bodenhorizont 0 – 20 cm)

bile Anteil zum Beispiel vom Boden pH-Wert, der Kationenaustauschkapazität, der Bodentextur oder vorhandener Adsorptionsmöglichkeiten im Boden beeinflusst. Je niedriger der pH Wert im Boden, desto höher ist die Kupfermobilität. Ein hoher Anteil an organischer Substanz oder Tongehalt im Boden kann einer erhöhten Mobilität durch Bereitstellung von Adsorptionsoberflächen entgegenwirken. Im Weinbau sind die mobilen Kupfergehalte aufgrund der hohen Gesamtgehalte deutlich höher als im Obstbau. Prozentual gesehen liegen jedoch auf den bewirtschafteten Wein- und Obstbauflächen maximal 0,3 Prozent vom Kupfergesamtgehalt in mobiler Form vor.

Auswirkungen von Kupfer auf Regenwurmlebensgemeinschaften

Regenwürmer reagieren aufgrund ihrer Lebens-, Aufnahme- und Ausschei-

dungsweisen unterschiedlich stark auf Kupfer. Die endogäischen Regenwurmarten leben als Mineralbodenbewohner im Oberboden und verlassen diesen Bereich nur selten. Endogäisch lebende Regenwürmer sind aufgrund ihres Lebensortes besonders von Kupfer und anderen Schwermetallen exponiert. Dieser Regenwurmtyp ist in den Weinbergen die am häufigsten zu findende Lebensform. Die änözischen Regenwürmer bohren sich als Tiefenräuber vertikal durch die verschiedenen Bodenschichten und kommen deshalb mit Kupfer nur temporär in Berührung. Sie sind die zweithäufigste Lebensform in den untersuchten Weinbauflächen. Die epigäischen Regenwürmer leben in der oberen Streuschichtauflage und sind besonders von aktuellen Kupfergaben, jedoch nicht von sequestrierten (fest gebundenen) Kupferanteilen betroffen. In

den Weinbergen waren sie am wenigsten vorzufinden.

Die Ergebnisse der untersuchten bewirtschafteten Weinbauflächen zeigen, dass mit zunehmendem mobilem Kupfergehalt eine Abnahme der Abundanz sowohl der endogäischen als auch der änözischen Regenwurmarten auftritt [Abb. 3]. Dieser Effekt ist bei den endogäischen Arten stärker ausgeprägt als bei den änözischen Arten. Das Vorkommen epigäischer Arten wird hingegen nicht durch Kupfer beeinträchtigt.

Der kritische Bereich, in dem negative Auswirkungen auf die Regenwurmzönose auftreten können, liegt zwischen 0,5 und 1,5 mg/kg Cu_{NH4NO3} bzw. deutlich über 100 mg/kg Cu_{KW}. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass 36 Prozent der untersuchten Flächen sandige Böden waren, in denen aufgrund der Bodentextur natürlicherweise mit einem geringen Regenwurm vorkommen zu rechnen ist. Neben unterschiedlicher Intensität chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen und der Bodentextur wird die Regenwurmzönose auch von verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen, dem Boden pH-Wert oder dem Anteil organischer Bodensubstanz beeinflusst.

Fazit

Die Kupfergehalte, die wir aktuell in den bewirtschafteten Wein- und Obstbauflächen finden, resultieren in dieser Höhe aus der Nutzungshistorie und vor allen Dingen den aus sehr hohen Fungizidgaben zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts von 20–30 kg, teilweise sogar bis 80 kg, pro Hektar. Die im Rahmen der Kupferminimierungsstrategie festgesetzten Aufwandmengen von maximal drei Kilogramm pro Hektar im Wein- und Obstbau leisten damit einen deutlich geringeren Beitrag zur Neubelastung des Bodens, selbst wenn dieser Anteil im Boden voll umfänglich akkumuliert. 1993 wurden von Eikmann und Kloke Richtwerte für Kupfer

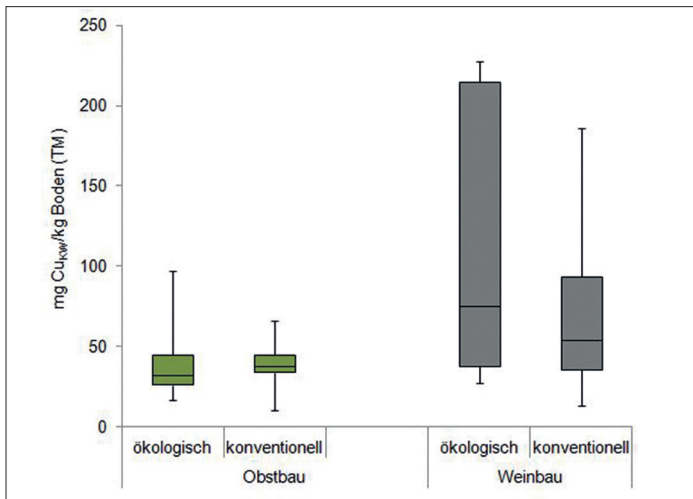


Abb. 1: Vergleich der Verteilung der Kupfergesamtgehalte im konventionellen und ökologischen Obst- und Weinbau (Boxplots = Minimum, 25 % Quantil, Median, 75 % Quantil, Maximum).

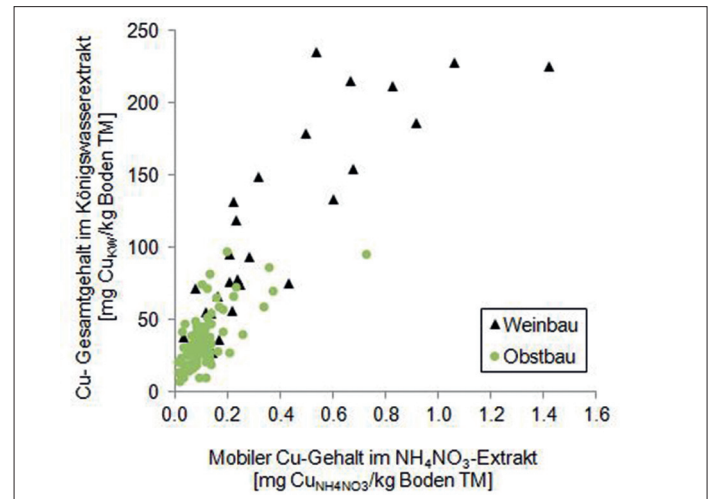


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Kupfergesamt- und mobile Gehalte der untersuchten Flächen im Obst- (n = 87) und Weinbau (n = 30).

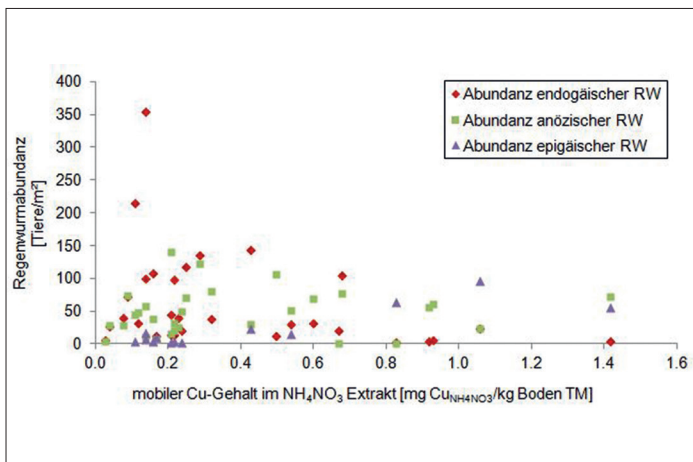


Abb. 3: Regenwurmabundanz endogäischer, anözischer und epigäischer Regenwurmarten in Abhängigkeit mobiler Kupfergehalte im Weinbau.

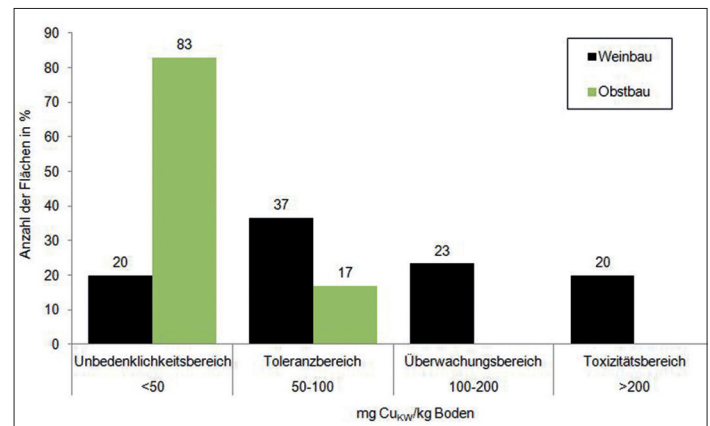


Abb. 4: Einteilung der Flächen in das Klassifizierungsschema modifiziert nach den Richtwerten von Eikmann und Kloke [EIKMANN, T. A. KLOKE, 1993: Nutzungsmöglichkeiten und Sanierung belasteter Böden. VDLUFA-Schriftenreihe; 34. Darmstadt, VDLUFA-Verlag, Deutschland].

nach Bodengesamtgehalten klassifiziert. Demnach werden Kupfergehalte unter 50 mg/kg als unbedenklich und zwischen 50 und 100 mg/kg als tolerierbar eingestuft. Gehalte von 100–200 mg/kg liegen im Überwachungs- und Gehalte größer 200 mg/kg im Toxizitätsbereich.

Abbildung 4 zeigt, dass die Belastung der Böden mit Kupfer im Obstbau bisher geringer ist als bei einigen Flächen im Weinbau. Dementsprechend ist auch von einem geringeren Risiko für die Regenwurmzönose im Obstbau auszugehen. Im Obstbau liegen die Kupfergesamtgehalte größtenteils (83 Prozent der Flächen) noch im Unbedenklichkeitsbereich, während im Weinbau Flächen Gehalte aufweisen, welche im Überwachungs- (23 Prozent) oder sogar Toxizitätsbereich (20 Prozent) einzustufen wären.

Unsere Untersuchungen zeigen aber auch, dass das Bodenleben nicht nur von Kupfer, sondern auch von anderen Schwermetallkontaminationen oder ungünstigen Bodenverhältnissen geprägt ist. So gibt es auch im Weinbau bewirtschaftete Flächen, welche trotz hoher Kupfergehalte über ein sehr hohes Gesamtregenwurmorkommen verfügen.

Aufgrund der sehr heterogenen Kupferverteilung innerhalb einer Obst- oder Weinbaufläche gibt es für die Regenwurmpopulation immer Möglichkeiten, sich in weniger belastete Bereiche zurückzuziehen oder sich dort zu erholen, so dass die Funktionsfähigkeit der Regenwürmer trotz einer Kupferbelastung des Bodens aufrecht erhalten wird. Vergleichsstudien aus Freiland und Laborexperimenten zeigen weiterhin, dass

Bodenlebewesen über eine hohe Anpassungsfähigkeit und Toleranz gegenüber Schwermetallbelastungen verfügen. Nichtsdestotrotz wäre es wünschenswert, in belasteten Böden gerade die Regenwurmgemeinschaft der endogäischen Arten durch geeignete Managementmaßnahmen, zum Beispiel Erhöhung der organischen Substanz durch Begrünung oder Einstellung eines optimalen Boden-pH-Wertes, zu fördern.

DR. DIETER FELGENTREU
DR. NADINE HERWIG
DR. BERND HOMMEL

vom Julius Kühn-Institut;
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für ökologische Chemie,
Pflanzenanalytik und Vorratsschutz

www.julius-kuehn.de
nadine.herwig@julius-kuehn.de