

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und
Landesplanung
Dr. G. Jung / Dr. J. Backes

Stiftsstraße 9
55116 Mainz

Ihr Zeichen:
Unser Zeichen:
Durchwahl: - 136 125
Kontakt: 26.02.2013 /ks
Datum: 25.04.2013 /ks

Stellungnahme zur „Bewertung des Transfers und der Anreicherung von Kupfer in Nutzpflanzen“

Sehr geehrter Herr Dr. Jung,
sehr geehrter Herr Dr. Backes,

am 19. Nov. 2012 beauftragten Sie uns mit der vorgenannten Stellungnahme. Ziel dieser Stellungnahme ist konkrete Aussagen zu tolerierbaren Kupfergesamtgehalten in ehemaligen Weinbergsböden in Abhängigkeit unterschiedlicher Bodenparameter für die gärtnerischen Nutzungen als Zier- und Nutzgarten zu machen. Zudem sollten, abgestuft für die Kupfer-Konzentrationsbereiche bis 200 mg/kg, bis 400 mg/kg sowie über 400 mg/kg Feinboden, weitere Vorsorgemaßnahmen aufgezeigt werden.

Rechtliche Grundlagen zum Bodenschutz

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung von 1999 (BBodSchV) werden für Kupfer (als Gesamtgehalt) Vorsorgewerte von 20, 40 und 60 mg Cu/kg Boden TS für leichte (Sand), mittlere (Lehm, Schluff) und schwere Bodenarten (Ton) genannt.

Im ALEX-Infoblatt 24 des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) von 2007 wird gefordert, dass Bodenmaterial, vorgesehen zur Anlage einer durchwurzelbaren Bodenschicht mit nachfolgender landwirtschaftlicher Nutzung, maximal Kupfergehalte von 14, 28 bzw. 42 mg Cu/kg Boden TS enthalten darf. Dies entspricht einer Reduktion der vorgenannten Vorsorgewerte auf 70 %.

Im Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen, RLP (2002) : „Erlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren“ sind die umfassenden Vorgaben für die Bauleitplanung und Baugenehmigungsverfahren dargestellt.

Belastung von Weinbergböden mit Kupfer

In eigenen Untersuchungen der LUFA Speyer aus dem Jahre 2012 wurden bei 221 Proben aus dem Oberboden (0-30 cm) rheinland-pfälzischer Weinberge in über 52 % der Proben Gesamtgehalte an Kupfer über 60 mg Cu/kg Boden TS analysiert. Die Spannweite der gemessenen Cu-Gehalte betrug 18,1 bis 187 mg Cu/ kg Boden TS, bei einem arithmetischen Mittelwert von 70,6 mg Cu/ kg Boden TS.

Einem Artikel von Kloskowski, JKI, (1999) ist zu entnehmen, dass in Oberböden von „alten“ Weinbergen Maximalgehalte an Kupfer von bis zu 2880 mg Cu/kg Boden TS analysiert wurden. Die durchschnittlichen Cu-Gehalte betragen im Oberboden (0-20 cm) 475 mg Cu/kg Boden TS, in der Schicht von 20-40 cm immerhin noch 261 mg Cu/kg Boden TS.

Neuere Untersuchungen von Strumpf et al, JKI (2011) bestätigen die vorgenannten Ergebnisse. Er konnte als Maximalwert 825 mg Cu/kg Boden TS nachweisen, wobei der Mittelwert von 887 Proben aus dem Oberboden (0-20 cm) 101,3 mg Cu/kg Boden TS betrug.

Älteren Untersuchungen von Mohr, BBA (jetzt JKI) von 1985 in langjährig als Weinberg genutzten Böden ist zu entnehmen, dass Kupfer in Tiefen bis über 1 m verlagert wurde. Hierzu kann das in Weinbergen übliche Rigolen auf bis zu 0,8 m vor der Neuanlage von Weinbergen mit dazu beigetragen haben, genauso wie ein hoher Steinanteil im Boden. Der Anteil an Bodenpartikeln über 2 mm (sog. Bodenskelett) ist gerade in den Schiefer-Verwitterungsböden entlang der Mosel sehr hoch. Hier haben wir nicht selten Steinanteile bis zu 50 %. In Böden mit solch hohen Steinanteilen ist durch Versickerung von gelöstem, aber auch an Humus- und Tonpartikeln adsorbiertem Kupfer eine erhöhte Auswaschung in tiefere Bodenschichten möglich.

Das Ausmaß der Verlagerung wird gemäß Untersuchungen von König et al (1986) wesentlich durch die Bindung von Kupfer an niedermolekulare organische Verbindungen bestimmt, denn diese werden im Boden nur schlecht adsorbiert. Die Verlagerung von Kupfer ist aber nicht nur von dem Gehalt an organischer Masse, Aufwandmenge an Kupfer und Häufigkeit der Kupfer-Applikation über die Jahrzehnte hinweg abhängig, sondern auch vom pH-Wert. Bei pH-Werten im sauren Milieu (< 5,0) ist generell eine größere Mobilität zu beobachten als im alkalischen Milieu (> 7,0). Diese höhere Mobilität im Boden verursacht auch eine erhöhte Pflanzenaufnahme. Im Lehrbuch für Bodenkunde von Schachtschabel, P. et al (2002) wird als Grenz-pH-Wert der Bereich 4 – 4,5 genannt. Bei pH-Werten unterhalb dieses Bereichs nimmt die Mobilität von Kupfer im Boden zu. Anderen Untersuchungen kann man entnehmen, dass Kupfer auch bei höheren pH-Werten in Lösung geht und somit auch pflanzenverfügbar wird. Im Trinkwasserbereich werden pH-Werte unter 7,4 als kritisch erachtet, da nun in zunehmendem Maße Kupfer in Lösung geht.

Transfer Boden – Pflanze von Kupfer

Sauerbeck (1986) beschreibt Transferfaktoren von 0,1 bis 1,0 für die Aufnahme von bodenbürtigem Kupfer durch Pflanzen. Im o.g. Lehrbuch der Bodenkunde wird sogar ein Bereich für Transferfaktoren von 0,1 bis 2,0 angegeben

Als Transferfaktor wird hierbei das Verhältnis von Kupfergehalt in der Pflanze bezogen auf den Gehalt an Kupfer im Boden (jeweils in mg/kg TS) bezeichnet.

Ähnlich haben Strumpf und Kollegen (2009) den Biokonzentrationsfaktor (BCF) berechnet: $BCF = \text{Gesamtgehalt in oberirdischen Pflanzenteilen (TS)} / \text{Gesamtgehalt im Boden (TS)}$.

Der BCF ist den o.g. Autoren zufolge auf definierte Pflanzenteile wie Blätter, Knollen, Rüben, Früchte oder auch Öl und Presskuchen bezogen, also nicht allein auf oberirdische Pflanzenteile.

So ermittelten Strumpf et al 2009 beispielhaft für Tomaten einen BCF von 0,47 bei Bodengehalten von 15 bis 23 mg Cu/kg Boden TS. Diese Bodengehalte entsprechen den geogenen Hintergrundwerten von Kupfer vieler Böden. In einem Bericht über Kupfer des Schweizer Bundesamtes für Umwelt aus dem Jahr 2006 werden BCF's von 0,20 – 0,65 mit dem Mittelwert von 0,5 für Gemüse genannt und bestätigen somit die Analysenergebnisse von Strumpf und Kollegen.

Bei „tieferen“ (niedrigen) Bodengehalten sollen die BCF's höher sein als bei hohen Kupfergehalten im Boden. Die uns vorliegenden Literaturangaben lassen sich hierzu jedoch nicht näher interpretieren, da sie keine systematischen Untersuchungsreihen aufweisen.

Die vorgenannten Biokonzentrationsfaktoren werden durch Untersuchungen der LUFA Speyer (2012) bestätigt.

Für Kopfsalat und Zucchini wurden, bei sehr niedrigen Kupfergehalten in einem Sandboden, die in Tabelle 1 angegebenen Transferfaktoren ermittelt.

Tabelle 1: Transferfaktoren für Kupfer bei drei unterschiedlichen Kupfergehalten im Boden und zwei Pflanzenarten (Kopfsalat und Zucchini) – Ergebnisse LUFA Speyer (2012)

Kupfergehalt in mg Cu/ kg Boden TS	Transferfaktoren	
	Kopfsalat (Blatt)	Zucchini (Frucht)
8 (Kontrolle)	0,87	0,76
11	0,69	0,49
17	0,41	0,35

Transferraten und Biokonzentrationsfaktoren für Kupfer variieren in Abhängigkeit der Pflanzenart, des Pflanzenorgans, des Gehalts an Kupfer im Boden sowie weiteren bodenkundlichen Parametern wie pH-Wert, Humus-, Carbonat-, Hydroxid-, Sulfid-, Ton- und Steingehalt.

Eine Bewertung der einzelnen Faktoren hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Kupferaufnahme durch Pflanzen ist nicht möglich, da sie sich gegenseitig sowohl verstärkend als auch hemmend auswirken können.

Kupferaufnahme mit der Nahrung

Strumpf, T., Reichmuth, C. (2009) bewerteten ihre Untersuchungsergebnisse mit dem TDI (Tolerable Daily Intake) von 0,16 mg Cu/kg Körpergewicht/ Tag gemäß Angaben einer Englischen Expertengruppe aus dem Jahre 2003. Hieraus berechneten Sie **tolerable Bodengesamtgehalte** von Kupfer für einen unbedenklichen Anbau von z.B. Blattgemüse (Eisbergsalat), Sprossgemüse (Kohlrabi), Fruchtgemüse (Buschbohnen), Wurzelgemüse (Schwarzwurzeln), Küchenkräutern (Bohnenkraut) und Obst (Himbeeren) von 30 – 50 mg Cu/kg Boden TS.

Ihre Empfehlung lautet: „nach Feststellung höherer Gehalte in betreffenden Kulturböden sollte eine Unbedenklichkeitsprüfung erfolgen oder vom betreffenden geplanten Anbau und Verzehr abgesehen werden“.

Die EFSA empfiehlt 2008 einen ADI (Acceptable Daily Intake) von 0,15 mg Cu/kg Körpergewicht/Tag.

Unter Berücksichtigung des von Strumpf, T. et al (2009) für Tomatenfrüchte in der 1. Etage ermittelten BCF von 0,47 ergeben sich beispielhaft bei einer Aufnahme von 100 g Tomate (20% TM) und 100-% Cu-Resorption bei unterschiedlichen Körpergewichten und Bodengehalten folgende ADI-Werte:

Tabelle 2: Cu-Aufnahme bei unterschiedlichem Körpergewicht und Gehalt an Kupfer im Boden für den Verzehr von 100 g Tomatenfleisch bei 20 % TS und einem Biokonzentrationsfaktor (BCF) von 0,47
Zulässiger ADI lt. EFSA (2008) : 0,15 mg Cu/kg Körpergewicht/Tag

BCF	Tomate 20 % TS	Körpergewicht kg	Bodengehalt mg Cu/kg Boden TS	Cu-Aufnahme mg Cu/kg Körpergew./ Tag
0,47	100 g	10	60	0,056
0,47	100 g	10	100	0,094
0,47	100 g	10	160	0,150
0,47	100 g	10	200	0,188
0,47	100 g	10	400	0,376
0,47	100 g	10	445	0,418
0,47	100 g	40	100	0,024
0,47	100 g	40	200	0,047
0,47	100 g	40	400	0,094
0,47	100 g	80	60	0,007
0,47	100 g	80	200	0,024
0,47	100 g	80	400	0,047

Tabelle 2 zeigt anschaulich, dass unter den vorgegebenen Bedingungen für Jugendliche und Erwachsene auch bei hohen Kupfergehalten im Boden der ADI-Wert von 0,15 mg Cu/kg Körpergewicht/Tag nicht überschritten wird. Auf Basis der in Tabelle 2 dargelegten Berechnungen sind somit hinsichtlich der Nahrungsmittelsicherheit für Erwachsene und Jugendliche keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Bei Kleinkindern mit entsprechend niedrigem Körpergewicht wird jedoch bereits bei einem Kupfergehalt von 160 mg/ kg Boden TS der zulässige ADI-Wert überschritten, wie am Beispiel mit der Tomatenfrucht anschaulich belegt wird. Hierbei ist die Kupferaufnahme aus anderen Nahrungs- und Flüssigkeitsquellen noch nicht berücksichtigt.

Berücksichtigen muss man auch die unterschiedlichen Verzehrsgewohnheiten. So können, um beim Beispiel der Tomate zu bleiben, Tomaten eingekocht oder getrocknet verzehrt werden. Wird, wie im Sommer häufiger, Tomatensalat gegessen, so werden in all diesen Fällen rasch mehr als 100 g an frischen Tomaten verzehrt. Allerdings kann man auch davon ausgehen, dass nicht jeden Tag größere Mengen an Tomaten verzehrt werden.

Die zitierten Literaturdaten weisen für den BCF eine weite Spanne auf. Der in Tabelle 2 angenommene Biokonzentrationsfaktor aus der Arbeit von Strumpf et al (2009) ist im Versuch bestimmt worden und entspricht den Transferfaktoren aus hauseigenen aber auch aus den zitierten schweizerischen Versuchen. Im Vergleich zu der von Sauerbeck, D. (1986) erwähnten Spannweite an Transferfaktoren von 0,1 bis 1,0 entspricht der Wert von 0,47 in etwa einem Mittelwert. Wie der Vergleich mit den vorgenannten älteren und neueren Messwerten für Kupfer in Weinbergböden belegt, sind die der berechneten Cu-Aufnahme zugrunde gelegten Kupfergehalte in Böden alter Weinbergslagen als realistisch anzusehen. Somit sind Überschreitungen des zulässigen ADI bei hohen Cu-Gehalten im Boden für Kleinkinder ohne weiteres möglich und für Jugendliche, je nach Verzehrsgewohnheit, auch nicht unrealistisch. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Cu-Gehalte in der Pflanze nicht in gleichem Maße wie die Gehalte im Boden ansteigen.

Maßnahmen zur Verminderung der Mobilität von Kupfer im Boden hinsichtlich des Transfers Boden – Pflanze

Die vorgenannten Ausführungen legen den Schluss nahe, dass in Weinbergen, in denen über Jahrzehnte hinweg Kupfer als Pflanzenschutzmittel ausgebracht wurde, grundsätzlich mit hohen Bodengehalten an Kupfer gerechnet werden muss. Solche alten Weinbergslagen befinden sich zudem oft in Ortsnähe, in die deshalb verstärkt organische Stoffe, wie Trester und Reste aus der Kellerwirtschaft (Hefe, Weinstein, Schönungsmittel) zwecks Nährstoffrecycling eingebracht wurden. Diese dorfnahen Flächen sollen nun als Baugebiet erschlossen werden. Aufgrund des Rigolens bei der Neuanlage, wegen des hohen Skelettanteils in den Weinbergböden der Mosel, aufgrund des von Hause aus niedrigen pH-Wertes der Schieferverwitterungs-Böden und der erhöhten Mobilität von an niedermolekularen Humusverbindungen adsorbiertem Kupfer können auch tiefere Bodenschichten hohe Gesamtgehalte an Kupfer aufweisen.

Hohe Kupfergehalte sind zwar in Ziergärten, im Gegensatz zu Nutzgärten, hinsichtlich der menschlichen Ernährung als unproblematisch anzusehen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass zu einem späteren Zeitpunkt auch in Ziergärten Nutzpflanzen angebaut werden. Deshalb empfehlen wir beide Nutzungsarten unter dem Gesichtspunkt des Anbaus von Nutzpflanzen zu betrachten.

Generell sollte das Baugebäude vor der Bebauung auf den Gesamtgehalt an Kupfer im Oberboden (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm) analysiert werden. Auch wenn für den Nutzpflanzenanbau in erster Linie der Oberboden von Bedeutung ist, sollte zur genaueren Einschätzung der Belastungssituation auch der Unterboden mit betrachtet werden. Auch wenn die Anzahl der Beprobungspunkte in Abhängigkeit der Flächengröße und der geplanten Nutzung gem. BBodSchV (1999) festzulegen ist, sollte man sich auch an den vor der Umlegung vorhandenen Flurstücksgrenzen orientieren. Es ist nämlich davon auszugehen, dass die Bewirtschaftung (Kupferausbringung) von Flurstück zu Flurstück, selbst bei gleichem Bewirtschafter, variiert und damit auch der Gehalt an Kupfer.

Liegen die Gesamtgehalte im Ober- und Unterboden jeweils unter 200 mg Cu/kg Boden TS, sind keine weiteren Maßnahmen hinsichtlich des Transfers Boden – Pflanze erforderlich. Dies ist in Übereinstimmung mit der Definition des Sicherheitsbereichs von Stimpfl et al (2006), zitiert bei Strumpf et al (2009). Stimpfl et al definieren als Sicherheitsbereich Bodengehalte an Kupfer von 100 bis 200 mg Cu/kg Boden TS in dem noch keine Pflanzenschäden zu erwarten sind. In diesem Bereich ist mit einer leicht erhöhten Gesundheitsgefahr zu rechnen.

Liegen die Gehalte im Oberboden über 200 mg Cu/kg Boden TS, so ist der Oberboden zu entfernen und durch unbelastetes Bodenmaterial in einer Auflagehöhe von mind. 0,4 m zu ersetzen. Der abgetragene Oberboden sollte an anderer Stelle im Baugebiet, z.B. unter Lärmschutzwällen oder bei der Anlage von wasserundurchlässigen Wegen eingebaut werden. Die Anforderungen an die Errichtung von technischen Bauwerken im ALEX-Informationsblatt 26 (2007) sind zu beachten.

Wurde im Oberboden ein Kupfergehalt von über 400 mg / kg Boden TS analysiert, sollte dieser Boden grundsätzlich entsorgt (deponiert) werden.

Der Unterboden kann in diesen Fällen vernachlässigt werden, da die Hauptwurzelmasse der Nutzpflanzen im Hausgarten im humus- und nährstoffreichen Oberboden verbleibt. Die im Unterboden befindlichen Wurzeln dienen bei den gärtnerischen Nutzpflanzen in erster Linie zur Wasserversorgung und in geringerem Maße zur Nährstoffversorgung. Durch den Bodenauftrag wird eine ausreichend mächtige unbelastete Oberbodenschicht erzeugt, die nur gering belastete Pflanzenprodukte hervorzubringen vermag.

Alle diese Maßnahmen sind zu dokumentieren.

Als Hinweise an die Grundstückseigentümer sollten Kalkungsmaßnahmen angesprochen werden, die nach der in der Bodenuntersuchung erfolgten Bestimmung von pH-Wert und Bodenart für den jeweiligen Optimal-pH Bereich erforderlich sind. Hierdurch wird die Mobilität von Kupfer im Boden reduziert. Eine Bodenkalkung ist allerdings in regelmäßigen Abständen zu wiederholen, da die für den pH-Wert maßgeblichen Hydroxyl-Ionen ausgewaschen werden.

Der Anbau von Gründüngungspflanzen zur Humusversorgung des Bodens ist, wie auch alle anderen humusaufbauenden Bewirtschaftungsmaßnahmen, ebenfalls zu empfehlen. Da Kupfer an Humuspartikel adsorbiert wird, kann hierdurch ebenfalls der pflanzenverfügbare Anteil im Boden verringert werden. Aber auch diese Bewirtschaftungsmaßnahme muss regelmäßig angewandt werden, denn Humuspartikel unterliegen im Boden der Mineralisation und gehen somit als Adsorbentien verloren.

Pflanzenteile, die, wie Möhren, Schwarzwurzeln, Pastinaken, Radies oder Kartoffeln, im Boden wachsen, sollten vor der Zubereitung nicht nur gewaschen sondern auch geschält werden. Mit diesen Maßnahmen sind bekanntermaßen anhaftende und in der Schale befindliche Kontaminationen wirksam zu entfernen.

Die vorgenannten Maßnahmen wie Bodenuntersuchung, Kalkung, Erhalt oder Erhöhung des Humusgehaltes sowie Ratschläge zur küchentechnischen Handhabung sind als Empfehlung zu betrachten. Sie sollten solange beachtet werden, solange Kupfergehalte über 200 mg/kg im Boden vorliegen und

solange Nahrungspflanzen angebaut werden. Wir sind uns darüber im klaren, dass diese Hinweise den Grundstücksverkauf erschweren und rechtlich nicht verbindlich vorgeschrieben werden können. Es sind aber die einzigen Maßnahmen, die ohne in den Boden einzugreifen, wirksam sind.

Weitere Maßnahmen wie Einsatz von Chelatoren, die Kupfer binden können oder von Hyperallokatoren, die Kupfer aus dem Boden entnehmen und so den Boden reinigen sind entweder zu teuer oder zu zeitaufwändig.

Speyer, 25.04.2013



Dr. Seibert
Abteilungsleiter

Literatur:

ALEX-Informationsblatt 24 (2007): Anforderungen des § 12 BBodSchV an die Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht (DB). Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht.

ALEX-Informationsblatt 26 (2007): Anforderungen an die Verwendung von Boden und Bauschutt in technischen Bauwerken. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht.

Bundesamt für Umwelt (2006): Kupfer. Umwelt-Wissen Nr. 0601, Hrsg. Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern, 78 – 81.

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. BGBl I, Nr. 36, 1554-1582.

Kloskowski, R. (1999): Verbleib von Kupfer in Boden und Wasser nach Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Heft 53, 34 – 37.

König et al (1986): Der Einfluß der natürlichen organischen Substanzen auf die Metallverteilung zwischen Boden und Bodenlösung in einem sauren Waldboden. Z.Pflanzenernähr.Bodenk. 149, 68 – 82.

Mohr, H.D. (1985): Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Fosten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 308. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup. Schwermetalle in Boden, Rebe und Wein

Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen, RLP (2002): Erlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren, 1-40

Sauerbeck, D. (1986): Möglichkeiten zum Schutz der Pflanzenproduktion auf belasteten Böden, In „agrarspektrum“, Band 11, Belastungen der Land- und Forstwirtschaft durch äussere Einflüsse, 205-229

Schachtschabel, P., et al (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart., 368 – 371.

Strumpf, T. et al (2009): Gesamtgehalte von Kupfer in Böden des Kernobstanbaus, Weinbergen und Hopfenanlagen. Journal für Kulturpflanzen, 61 (4), 117 – 125.

Strumpf, T., Reichmuth, C. (2009): Risikoabschätzung von Schadelementen (Schwermetallen) im System Boden/Pflanze. Gesunde Pflanzen, 61, 39 – 50.