

# Untersuchungen zu Eintrag, Verteilung und Auswirkungen von Zink aus Unterstützungsvorrichtungen in Weinbergsböden

DIERK HAGEN MÜLLER

Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt, Fachbereich Ökologie  
D-67435 Neustadt/Weinstraße, Breitenweg 71

dmueller.slfa-nw@agrarinfor.rlp.de

*Zur Charakterisierung der Zinkeinträge durch feuerverzinkte Unterstützungseinrichtungen wurde eine Rebfläche in einem deutschen Weinanbaugebiet in Rheinland-Pfalz untersucht. Es handelte sich dabei um eine 20-jährige Anlage auf einem schwach sauren (pH-Wert = 6,5), lehmigen Sandboden. Die Ergebnisse zeigen eine Anreicherung von Zink in den obersten Bodenschichten. Die untersuchten Bodenproben wiesen im Gegensatz zur Kontrollstelle (100 ppm Zink) Konzentrationen von 200 ppm Zink auf. In unmittelbarer Pfahlumgebung wurde sowohl im Ober- als auch im Unterboden eine massive Anreicherung von Zink festgestellt. Die Konzentrationen bewegen sich hier zwischen 1849 ppm in der Bodenschicht von 0 bis 15 cm und 852 ppm in einer Tiefe von 60 bis 90 cm, wobei die Maximalwerte über 2300 ppm in der obersten Schicht lagen. Es konnten keine Verlagerungen von Zink in bevorzugte Richtungen oder in den Unterboden beobachtet werden. Die Einträge bewirkten eine Erhöhung des prozentualen Anteils des potenziell verfügbaren Zinks am Gesamtzink.*

**Schlagwörter:** Feuerverzinkte Pfähle, Zinkanreicherung, Weinbergboden

*Investigations into transfer, distribution and effects of zinc from vine trellis systems in vineyards. For the investigation into the transfer of zinc from hot-dipped vine trellis systems into vineyards a 20 years old vineyard in the German winegrowing region Rhineland-Palatinate with loamy soil and a pH-value of 6.5 was investigated. Results show an accumulation of zinc in the upper soil layers. The concentrations in the soil samples were 200 ppm zinc compared to 100 ppm in the control location. Closest to the post a significant accumulation was detected in the top soil as well as in the subsoil. Concentrations here ranged from 1849 ppm in the soil layer from 0 to 15 cm to 852 ppm in a depth of 60 to 90 cm, the maximum values in the top layer being higher than 2300 ppm. No transfers of zinc into preferred directions or into the subsoil were observed. With respect to the total zinc content the percentages of potentially available zinc were increased.*

**Key words:** Hot-dipped vineyard posts, zinc accumulation, vineyard soil

*Recherches sur l'apport, la répartition et les effets du zinc provenant des systèmes de soutien dans les sols des vignobles. Une aire viticole située dans une région viticole allemande en Rhénanie-Palatinat a été examinée en vue de caractériser les apports de zinc provenant des systèmes de soutien galvanisés à chaud. Il s'agissait d'un système âgé de 20 ans sur un sol sablonneux légèrement acide (pH = 6,5) et argileux. Les résultats ont fait apparaître un enrichissement de zinc dans les couches supérieures du sol. Contrairement à l'endroit de contrôle (100 ppm de zinc), les échantillons de sol examinés présentaient des concentrations de 200 ppm de zinc. Un enrichissement massif de zinc a été constaté à proximité immédiate des échelas, tant dans la couche superficielle que dans le sous-sol. Les concentrations se situaient entre 1849 ppm dans la couche de 0 à 15 cm et 852 ppm dans une profondeur de 60 à 90 cm, les valeurs maximales de plus de 2300 ppm ayant été trouvées dans la couche supérieure. Des déplacements de zinc dans*

*des directions préférées ou vers le sous-sol n'ont pas pu être observés. Les apports ont provoqué une augmentation du pourcentage du zinc potentiellement disponible par rapport au zinc total.*

**Mots clés :** échalas galvanisés à chaud, enrichissement de zinc, sol de vignoble

Der Eintrag von Schwermetallen in die Weinberge setzte schon sehr früh, zum Ende des 19. Jahrhunderts ein. So sind hohe Kupfergehalte in den Böden der Weinberge keine Seltenheit (PERRET, 1987). Sie sind zu einem großen Teil auf die Bekämpfung des Falschen Mehltaus (*Plasmopara viticola*) zurückzuführen. Diese erfolgte im Zeitraum von etwa 1885 bis 1945 fast ausschließlich mit der so genannten Bordeaux-Brühe, einer kupferhaltigen Verbindung mit fungizider Wirkung (MOHR, 1985). In der Zeit nach 1945 setzte im Weinbau ein verstärktes Interesse an Siedlungsabfallkomposten als Düngemittel ein. Da aus Gründen der Rationalisierung viele Weinbaubetriebe ihre Viehhaltung aufgaben und damit der zur organischen Düngung benutzte Stallmist nicht mehr zur Verfügung stand, stellten Müllkompost, Müllklärschlammkompost und Klärschlamm eine kostengünstige Alternative zur Humusversorgung der Böden dar (MOHR, 1985). Durch die Ausbringung kam es auch zu einer Anreicherung der in den Komposten und Klärschlämmen enthaltenen Schwermetalle in den Weinbergböden. Durch die zunehmende Industrialisierung und den damit einhergehenden Anstieg vieler Schwermetalle in der Atmosphäre (MERIAN, 1991) wurden diese durch Niederschlagsdeposition in Form von Stäuben und Gasen oder in gelöster Form (SCHIMMING, 1992) auf die Bodenoberfläche aufgetragen. Schwermetallverunreinigungen von Düngemitteln sind eine weitere potenzielle Quelle für mögliche Einträge (RAVEN und LOEPPERT, 1997). Darüber hinaus sind im Weinbau verwendete Unterstützungseinrichtungen (Weinbergspfähle und Drahtrahmen) in den letzten Jahren in die Diskussion geraten (WALG, 1988; MÜLLER, 1993 und 1999; RUPP und TRÄNKLE, 2002). Während in den Weinbergen früher Holzpfähle verwendet wurden, sind aus arbeitswirtschaftlichen Gründen seit etwa 20 bis 25 Jahren vor allem Stahlpfähle im Gebrauch. Um eine Korrosion zu vermeiden, werden diese verzinkt. Es ist bekannt, dass Zinkeinträge in Weinbergböden auf unterschiedliche Quellen zurückzuführen sind: atmosphärische Einträge (0,27 bis 1,46 kg/ha pro Jahr), Klärschlamm (<4,17 kg/ha pro Jahr), Bioabfallkompost (<3 kg/ha pro Jahr), Düngemittel (<0,16 kg/ha pro Jahr), Pflanzenschutzmittel (gering) und Unterstützungseinrichtungen (5 kg/ha pro Jahr).

Weitgehend ungeklärt ist noch die Frage, welche dieser Quellen eine tatsächliche Relevanz für einen Zinkeintrag in den Weinberg besitzen.

Der atmosphärische Stoffeintrag wurde für eine Reihe von Elementen, unter anderem für Zink von BERAN (1992), charakterisiert. Seine mehrjährigen Messungen ergaben bei einer unbestockten Fläche einen Zinkeintrag von 0,272 kg/ha pro Jahr, bei einer bestockten Fläche lag er mit 1,465 kg/ha pro Jahr um das etwa Fünffache höher.

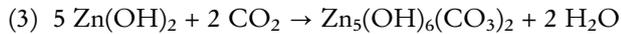
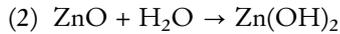
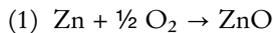
Der Eintrag von Zink über Klärschlamm ist in der BRD durch die Klärschlammverordnung (AbfKlärV, 1992) begrenzt. Danach dürfen durch Klärschlamm nicht mehr als 12,5 kg Zink pro ha über einen Zeitraum von drei Jahren hinweg ausgebracht werden. In der Bioabfallverordnung der BRD (BioAbfV, 1998) wird für Zink ein Grenzwert für biogene Abfälle zwischen 300 und 400 mg/kg Trockensubstanz festgesetzt. Die Anwendungsobergrenze beträgt 20 t bzw. 30 t Trockensubstanz pro Hektar für einen Dreijahreszeitraum, was einer maximalen Ausbringungsrate bezogen auf Zink von 8 bis 9 kg/ha über drei Jahre entspricht.

Verunreinigungen von Düngemitteln mit Zink und daraus resultierende Einträge bewegen sich dagegen in vernachlässigbaren Größenordnungen. Je nach Art des Düngers beträgt der Eintrag höchstens 16 g/ha pro Jahr (BOYSEN, 1992).

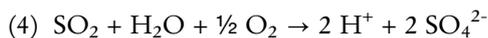
Zinkhaltige Pflanzenschutzmittel, wie z.B. Mancozeb, werden im Weinbau zwar eingesetzt, dennoch dürfte Zink nur in geringen Mengen aus dem Pflanzenschutz stammen (PERRET, 1987).

Der Beitrag feuerverzinkter Unterstützungseinrichtungen auf den Zinkeintrag im Weinberg sollte durch die vorliegenden Untersuchungen näher charakterisiert werden.

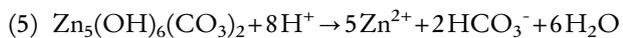
Die im Weinbau verwendeten Stahlpfähle und Drähte werden zur Vermeidung von Korrosion feuerverzinkt. Der eigentliche Korrosionsschutz ist hierbei auf die Entstehung einer Deckschicht aus festen Zinkkorrosionsprodukten zurückzuführen, die eine weitere Korrosion erheblich behindert. Hierbei entsteht an der Atmosphäre zunächst Zinkoxid (1), das auf Grund der Luftfeuchtigkeit zu Zinkhydroxid (2) und schließlich unter der Wirkung von Kohlendioxid zu einem basischen Zinkcarbonat (3) reagiert (BfS, 1983):



Die Ausbildung der Schutzschicht kann je nach Luftfeuchtigkeit erheblich variieren. Sie vollzieht sich bei einer Luftfeuchtigkeit von 75 % bereits innerhalb von drei Tagen, bei trockener Luft benötigt der Prozess bis zu 100 Tage (BfS, 1983). Die gebildeten Schutzschichten sind im neutralen und leicht alkalischen Bereich stabil. Bei pH-Werten  $> 12,5$  und  $< 7$  erfolgt eine Auflösung dieser Schichten (JOHNEN, 1981). In der Atmosphäre wird die Geschwindigkeit der Auflösung der Deckschicht vor allem durch den Zutritt von Schwefeldioxid bestimmt:



Die gebildeten Wasserstoffionen lösen die Deckschichten nach folgender Gleichung auf:



Schwefeldioxid führt dabei erst dann zu einer Korrosion, wenn die Luftfeuchtigkeit größer als 70 % ist (JOHNEN, 1981). In der Bodenzone wird der Abtrag durch saure und staunasse und damit schlecht durchlüftete Böden, die eine schlechtere Ausbildung der Zinkpatina bewirken, gefördert (BfS, 1983). Es wird deutlich, dass der Abtrag somit von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist. Hierzu gehört neben dem Klima (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) auch der Standort und damit die Frage, ob sich die Anlage in einer mehr ländlich oder mehr industriell geprägten Region mit spezifischen Luftverunreinigungen durch Industrie und Kraftfahrzeuge befindet.

Die jährlichen Abtragsraten bewegen sich in ländlichen Regionen zwischen 1 und 4  $\mu\text{m}$ , im Mittel liegen sie bei 1,5  $\mu\text{m}$ . In der Stadtluft liegen sie zwischen 1 und 6  $\mu\text{m}$ , im Durchschnitt bei 3,5  $\mu\text{m}$  und in einer Industrieatmosphäre zwischen 4 und 13  $\mu\text{m}$ , im Mittel bei 8  $\mu\text{m}$  (BfS, 1983). Die Minimal- und Maximalwerte zeigen, dass die Grenzen fließend sind.

Anhand dieser Daten ist es - ein gleichmäßiger Abtrag unterstellt - möglich, den Zinkabtrag an Weinbergspfählen abzuschätzen. Bezogen auf eine Länge von 2,5 m beträgt die Pfahloberfläche etwa 7000  $\text{cm}^2$ . Eine Abtragsrate von lediglich 1  $\mu\text{m}$  angenommen, ergibt

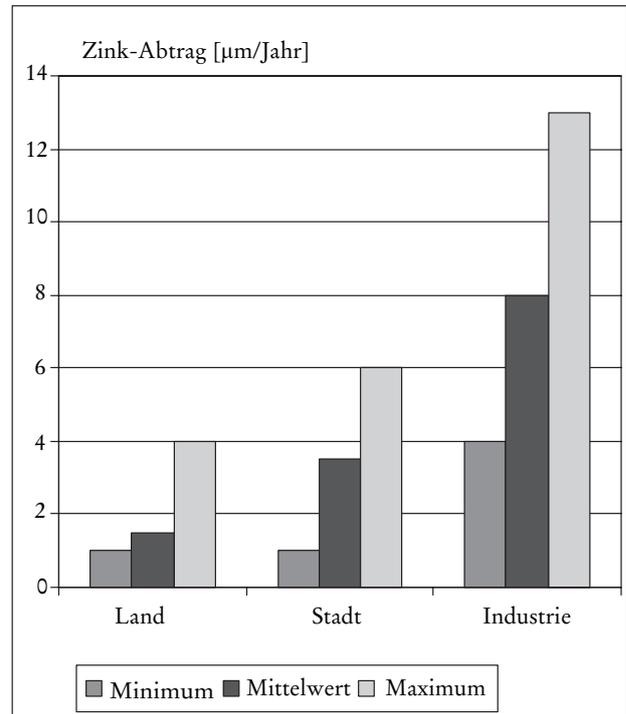


Abb. 1: Abtragsraten in unterschiedlichen Regionen (BfS, 1983)

sich pro Pfahl ein Abtrag von 0,7  $\text{cm}^3$ , was bei einer Dichte von 7,1  $\text{g}/\text{cm}^3$  einer Zinkfreisetzung von 4,97 g pro Pfahl entspricht. Beim Einsatz von etwa 1000 Pfählen pro Hektar summiert sich der Abtrag auf nahezu 5  $\text{kg}/\text{ha}$ . Bei dieser Modellrechnung wird von einem gleichmäßigen Abtrag ausgegangen. Es wurde nicht berücksichtigt, dass gerade im Übergangsbereich zwischen Boden und Luft ein verstärkter Abtrag stattfindet, ebenso an der dem Regen zugewandten Seite. Hier können bis zu dreimal höhere Abtragsraten erreicht werden (BfS, 1983). Außerdem wurden die möglichen Einträge durch den Drahtrahmen nicht bewertet. Bestätigt werden die hier getroffenen Annahmen durch Versuche der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt. Hierzu wurden in Bewitterungsversuchen für lokale Verhältnisse jährliche Dickenabnahmen von 0,4 bis 1,2  $\mu\text{m}$  für feuerverzinkten Stahl ermittelt.

Stellt man die unterschiedlichen potenziellen Zinkeinträge aus den verschiedenen Quellen gegenüber (Tab. 1), so werden zwei Dinge deutlich:

Die potenziellen Einträge durch Dünger und Pflanzenschutzmittel bewegen sich in vernachlässigbaren Größenordnungen. Dagegen würde der Zinkeintrag durch Weinbergspfähle schon bei einer minimalen Abtragsrate

Tabelle 1  
Zinkeinträge in den Weinberg

Eintragsquelle	Jährliche Eintragsmenge
Atmosphäre	0,27 kg/ha (unbestockte Fläche) 1,46 kg/ha (bestockte Fläche)
Biokompost	≤ 2,0 - 2,7 kg/ha (BioAbfV, 1998)
Klärschlamm	≤ 4,17 kg/ha
Dünger	≤ 0,016 kg/ha
Pflanzenschutzmittel	gering
Weinbergspfähle	≥ 5 kg/ha

von 1 µm den Grenzwert der Bioabfallverordnung und der Klärschlammverordnung erreichen bzw. überschreiten.

## Material und Methoden

Zur Charakterisierung der Zinkeinträge auf Grund verzinkter Unterstützungseinrichtungen wurde ein typischer Weinberg der Region (Pfalz) untersucht. Es handelte sich dabei um eine ebene Anlage auf einem lehmigen Sandboden mit einem pH-Wert von 6,5 (CaCl<sub>2</sub>) und einer Standzeit von 20 Jahren. Damit handelt es sich um eine der ersten Anlagen, in der verzinkte Weinbergspfähle zum Einsatz kamen. Bei den verwendeten Pfählen handelt es sich um bandverzinkte Pfähle der Firma Linus. Es wurde keine Düngung mit Klärschlamm bzw. Müllkompost durch den Winzer durchgeführt, sodass hierdurch kein Schwermetalleintrag stattfinden konnte. Die Probennahme erfolgte mit einem Pürkhauer Bohrstock. Die Beprobung erfolgte in unterschiedlichen Richtungen und Abständen (20, 40 und 60 cm) zu den Weinbergspfählen. Die beprobten Tiefen umfassten den Bereich von 0 bis 90 cm. Es wurden insgesamt sieben Pfähle beprobt. Pro Entfernung und Tiefe wurde eine Mischprobe aus vier Einschlägen gewonnen. Direkt am Pfahl wurden Mischproben aus zwei Einschlägen gewonnen. Zusätzlich wurden in der Rebanlage Proben an Stellen mit einer maximalen Pfahlentfernung genommen sowie darüber hinaus in einer schmalen Gasse in etwa 30 m Entfernung (K), welche die Grenze zwischen zwei Rebanlagen darstellt (Mischproben aus fünf Einschlägen).

Zur Bestimmung des Gesamtzinkgehaltes erfolgte der Aufschluss der Proben mit Königswasser (VDLUFA, 1991). Die Bestimmung des potenziell verfügbaren Zinks erfolgte mittels Diethylentriaminpentaacetat (DTPA) Extraktion (LINDSAY und NORVELL, 1978). Das

Tabelle 2  
Zn-Gesamtgehalte der untersuchten Bodenproben in unterschiedlichen Tiefen und Pfahlentfernungen (mg/kg)

Tiefe (cm)	Pfahlentfernung (cm)						
	0 n = 7	20 n = 7	40 n = 7	60 n = 2	Max. n = 4	K n = 3	
0-15	$\bar{x}$ :	1849	220	192	195	200	101
	s :	434	11,1	9,9	5,0	11,2	5,0
	Median	2015	221	192	-	201	104
	$x_{\max}$ :	2358	234	205	200	214	105
	$x_{\min}$ :	1172	206	176	190	183	94,0
15-30	$\bar{x}$ :	1378	122	100	120	106	83,1
	s :	183	20,0	16,8	6,5	21,7	14,0
	Median	1316	123	91	-	106	92,8
	$x_{\max}$ :	1679	155	133	126	76,6	93,1
	$x_{\min}$ :	1113	91,7	84,9	113	136	63,3
30-60	$\bar{x}$ :	1171	76,5	68,8	61,0	82,7	72,5
	s :	249	16,5	16,7	9,4	31,1	11,3
	Median	1063	79,4	63,4	-	77,6	68,9
	$x_{\max}$ :	1669	103	106	70,4	129	60,8
	$x_{\min}$ :	852	52,4	51,7	51,6	46,7	87,7
60-90	$\bar{x}$ :	810	59,2	57,3	54,8	56,7	68,7
	s :	197	7,1	7,1	10,8	8,1	4,8
	Median	683	62,2	58,0	-	59,3	69,8
	$x_{\max}$ :	1068	67,5	67,9	65,6	64,1	73,9
	$x_{\min}$ :	599	46,4	46,2	44,0	44,0	62,3

durch DTPA extrahierbare Zink stellt ein Maß für das potenziell verfügbare Zink dar, d.h. ein Maß für das in relativ kurzer Zeit, z.B. während einer Vegetationsperiode, nachlieferbare Zink (BRÜMMER et al., 1986). Die Konzentrationen wurden mittels Atomadsorptionspektrometrie (AAS) gemessen.

Zur Bestimmung des Zinkgehaltes der Reben wurden zwei Reben ausgegraben, eine Rebe direkt am Pfahl und eine Rebe zwischen zwei Pfählen mit maximaler Pfahlentfernung. Zur Bestimmung der Zinkgehalte erfolgte eine trockene Veraschung (SCHALLER, 1988). Hierzu wurden die Pflanzenteile Wurzel, getrennt nach Oberboden bis 30 cm Tiefe und Unterboden ab 30 cm Tiefe, Stamm und zweijähriger Trieb getrennt analysiert.

## Ergebnisse

### Zn-Gesamtgehalt

Die Zn-Gesamtgehalte der untersuchten Bodenproben in 20, 40, 60 cm und maximaler Pfahlentfernung zeigen keine signifikanten Unterschiede. In 0 bis 15 cm Tiefe liegen die mittleren Gesamtgehalte der unterschiedlichen Entfernungen zwischen 192 und 220 ppm, in 15 bis 30 cm Tiefe zwischen 100 und 120 ppm, in 30 bis 60 cm Tiefe zwischen 61,0 und 76,5 ppm und in 60 bis 90 cm Tiefe im Bereich von 54,8 bis 59,2 ppm. Im Vergleich zur Probe, die außerhalb der Rebanlage genommen wurde, mit einer Zinkkonzentration von 101 ppm in der obersten Bodenschicht liegt der Zinkgehalt des Bodens in der Rebanlage deutlich höher. In unmittelbarer Pfahlumgebung wurde sowohl im Ober- als auch im Unterboden eine massive Anreicherung von Zink festgestellt. In der obersten Bodenschicht liegen die Gesamtgehalte im Mittel bei 1849 ppm, in 15 bis 30 cm Tiefe bei 1378 ppm, in 30 bis 60 cm Tiefe bei 1171 ppm und in der tiefsten Schicht bei 810 ppm.

### DTPA-extrahierbarer Anteil

Der DTPA-Aufschluss als Maß für das pflanzenverfügbare Zink wurde exemplarisch für zwei Pfähle und deren Umgebung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

Das verfügbare Zink nimmt, mit Ausnahme der Proben, die direkt am Pfahl genommen wurden, mit zunehmender Tiefe ab. Die Konzentrationen liegen am Pfahl direkt mit Mittelwerten zwischen 639 ppm (0 bis 15 cm Tiefe) und 232 ppm (60 bis 90 cm Tiefe) um das

10-fache (0 bis 15 cm) bis fast 90-fache (60 bis 90 cm) höher als in 20 cm Entfernung zum Pfahl.

Der verfügbare Anteil des Zinks wurde in Relation zum Gesamtzink gesetzt. Die Ergebnisse, dargestellt als prozentualer Anteil des verfügbaren Zinks am Gesamtzink, sind in Abbildung 2 dargestellt.

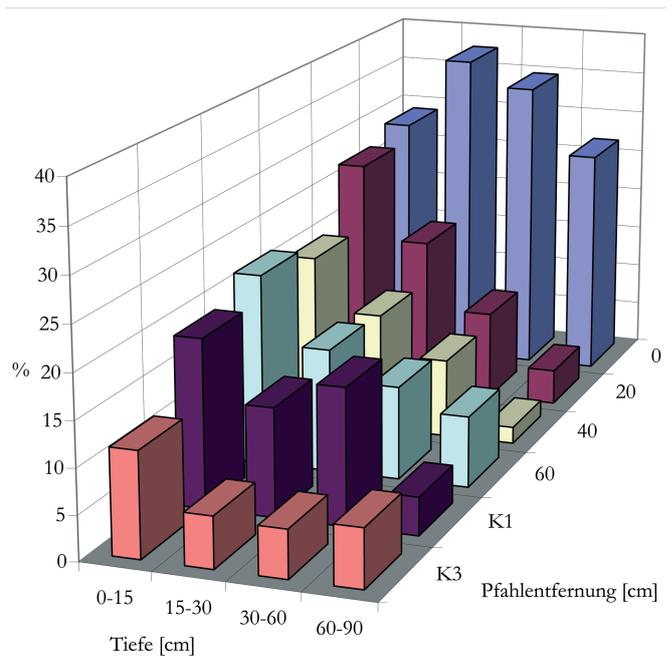


Abb. 2: Prozentualer Anteil des verfügbaren Zinks am Gesamtzink

Tabelle 3

DTPA-extrahierbarer Zn-Anteil und Gesamtzinkgehalt (mg/kg) der untersuchten Bodenproben in unterschiedlichen Tiefen und Pfahlentfernungen

Tiefe (cm)	Entfernung											
	0 cm		20 cm		40 cm		60 cm		max		Kontrolle	
	DTPA-Zn	Gesamt-Zn	DTPA-Zn	Gesamt-Zn	DTPA-Zn	Gesamt-Zn	DTPA-Zn	Gesamt-Zn	DTPA-Zn	Gesamt-Zn	DTPA-Zn	Gesamt-Zn
0-15	639	2204	60,2	222	36,2	184	44,9	207	37,8	200	11,8	101
15-30	498	1328	20,5	112	12,3	90,7	16,9	121	12,9	106	4,75	83,1
30-60	510	1472	8,40	82,1	7,67	85,4	9,44	89,5	27,4	87,7	3,87	72,5
60-90	232	867	2,60	64,6	1,11	58,7	5,81	72,2	2,44	57,2	4,47	68,7

Abbildung 2 zeigt, dass nicht nur die Gehalte an verfügbarem Zink mit zunehmender Tiefe geringer werden, sondern in der Regel auch der prozentuale Anteil des verfügbaren Zinks am Gesamtzink sinkt. Eine Ausnahme stellen auch hier die Proben direkt am Pfahl dar. Hier steigt der prozentuale Anteil von 29 % (0 bis 15 cm Tiefe) auf 37,5 % (15 bis 30 cm Tiefe) und fällt dann über 34,6 % (30 bis 60 cm Tiefe) auf 26,7 % (60 bis 90 cm Tiefe), wobei letzterer Anteil immer noch im Bereich des Wertes in der obersten Schicht liegt. Bei allen anderen Proben sinkt der Anteil in der tiefsten Schicht unter 10 %.

### Zinkgehalte der Reben

Neben den Zinkgehalten im Boden sind insbesondere die Zinkgehalte der Reben selbst von Interesse, erlauben sie doch direkte Rückschlüsse auf eine mögliche Beeinflussung. In Abbildung 3 sind die Zinkgehalte in verschiedenen Dauerorganen einer pfahnhaften Rebe denen einer Kontrollrebe gegenübergestellt.

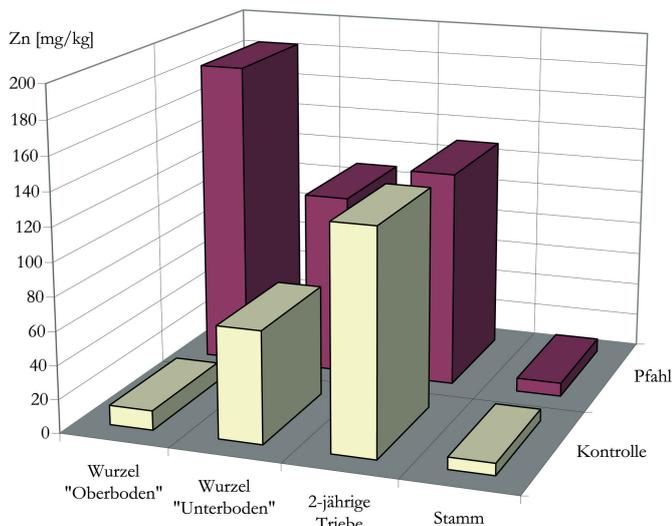


Abb. 3: Zinkgehalte der Rebe

Während sich im Stamm und im zweijährigen Trieb zwischen den Reben keine Unterschiede im Zinkgehalt zeigten, lag der Zinkgehalt in der Wurzel der am Pfahl eingepflanzten Rebe deutlich höher im Vergleich zur Kontrollrebe. Die tieferliegenden Wurzeln der pfahnhaften Rebe wiesen mit 109 ppm im Vergleich zu 66,3

ppm eine etwa 1,5-fach höhere, die in den oberen Bodenschichten liegenden Wurzeln mit 184 ppm zu 11,6 ppm eine etwa 15-fach höhere Konzentration an Zink auf als die Kontrollrebe. Diese Unterschiede spiegeln sich jedoch weder im Stamm mit Gehalten von 7 ppm (Kontrolle) bzw. 8 ppm (Pfahl), noch im zweijährigen Trieb mit Gehalten von 132 ppm (Kontrolle) bzw. 129 ppm (Pfahl) wider.

## Diskussion

### Gesamtzink

Während das Gesamtzink in der Regel in einem Bodenprofil gleichmäßig verteilt ist (SCHEFFER und SCHACHTSCHNABEL, 1992), nehmen im beprobten Weinberg die Gehalte von etwa 200 ppm auf Gehalte im Bereich von etwa 50 ppm ab. Die Verteilung im Profil zeigt ab etwa 30 cm Tiefe keine weitere Abnahme der Zinkkonzentration, während in 0 bis 15 cm und 15 bis 30 cm Tiefe deutlich höhere Gehalte vorliegen, die auf eine Zinkanreicherung bis in diese Tiefe schließen lassen.

Auffällig ist die relativ gleichmäßige Verteilung des Zinks in den oberen Bodenschichten ab einer Pfahlentfernung von 20 cm. Die erhöhten Gehalte hängen vermutlich vor allem mit dem korrosionsbedingten Abtrag an den Pfählen durch atmosphärische Einwirkungen zusammen sowie mit einer Bodenbearbeitung, die zu einer gleichmäßigen Verteilung im Boden führt. Da für die Bodenbearbeitung im Weinberg lediglich eine Lockerung des Bodens und keine Vermischung von Oberboden und Unterboden empfohlen wird (HILLEBRAND et al., 1992), erklärt dies auch, dass die Anreicherung des Zinks nur in den oberen Bodenschichten stattfindet. Hier wird auch deutlich, dass es nicht möglich ist, den atmosphärischen Zinkeintrag vom Eintrag durch korrosionsbedingten Abtrag an den Pfählen zu trennen. Als Orientierung kann hier lediglich der von BERAN (1992) ermittelte, etwa fünffach höhere Eintrag bei einer bestockten gegenüber einer unbestockten Fläche dienen. Hierbei ist zu bedenken, dass der Abtrag auf Grund einer Vielzahl von Faktoren sehr unterschiedlich ausfallen kann. Die typisch hohen Zinkgesamtwerte in unmittelbarer Pfahlhöhe weisen indes eindeutig auf einen Eintrag infolge von Korrosionsprozessen hin. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch RUPP und TRÄNKLE (2002) mit Werten von bis zu 2.400 mg/kg Boden. Erst ab einer Entfernung von 30 cm wurden von ihnen Gehalte von unter 100 mg/kg Boden ermittelt.

Der Eintrag von Zink in den Boden durch verzinkte Weinbergspfähle wurde auch von FARDOSSI et al. (1989) eindeutig nachgewiesen.

### Zinkverfügbarkeit

Die mobilisierbaren Anteile von Schwermetallen umfassen alle Schwermetall-Bindungsformen mit Einschränkung der in Silikaten und stabilen Eisenoxiden gebundenen Anteile (HORNBERG und BRÜMMER, 1993). Da Zink oft in höheren Anteilen in silikatischer oder oxidischer Bindung vorliegt (GERTH, 1985), wird die mobilisierbare Fraktion richtiger durch eine DTPA-Extraktion als durch die Bestimmung des Gesamtzinkgehaltes bestimmt (HORNBERG und BRÜMMER, 1993). Der prozentuale Anteil des durch DTPA-Extraktion gewonnenen Zinks am Gesamtzink wurde von HORNBERG und BRÜMMER (1993) bei 158 Bodenproben im Mittel mit 9 % und in 133 Proben von Ackerböden mit 8 % bestimmt. Die ermittelten Werte in den oberen Bodenschichten im Weinberg liegen alle deutlich über diesen Angaben. Es wird deutlich, dass die Verfügbarkeit nicht nur von Adsorptions-/Desorptions- und Komplexbildungsvorgängen, sondern auch durch reaktionskinetisch sehr langsam ablaufende Diffusionsprozesse bestimmt wird (GERTH, 1985). Das heißt, nach dem Eintritt einer Belastung sind bis zum Erreichen von Gleichgewichtsbedingungen häufig viele Jahre erforderlich (HORNBERG und BRÜMMER, 1993). Das bedeutet, dass sich der Anteil des verfügbaren Zinks mit dem Eintrag von Zink erhöht. Das eingetragene Zink muss also stärker in Form von austauschbaren Komplexen bzw. in der mobilen Fraktion vorliegen. Um hier genauere Aussagen über die Verteilung in den unterschiedlichen Fraktionen geben zu können, müssten die verschiedenen Anteile durch eine sequenzielle Extraktion bestimmt werden. Eine ökotoxikologische Bewertung der Ergebnisse wird dadurch erschwert, dass die bestehenden Grenzwerte sich nur auf die Gesamtgehalte der Metalle beziehen, wobei sich die Konzentrationen in unmittelbarer Pfahlentfernung in toxikologisch relevanten Größenordnungen bewegen, da sie sogar die Grenzwerte der Klärschlammverordnung für Gesamtgehalte deutlich überschreiten.

### Zinkgehalt der Reben

Die normalen Zinkgehalte in Pflanzen bewegen sich nach SAUERBECK (1989) im Bereich von 15 bis 100 ppm und nach SCHLICHTING (1992) zwischen 15 und 150

ppm. Als kritisch für das Pflanzenwachstum sieht SCHLICHTING (1992) Zinkgehalte ab etwa 150 bis 200 ppm. Nach SAUERBECK (1989) liegt die kritische Zinkkonzentration je nach Pflanzenart bei einem Schwellenwert von 150 bis 500 ppm. Die Reben wiesen in allen untersuchten Organen, mit Ausnahme der Wurzel am Weinbergspahl, Zinkkonzentrationen unter 150 ppm auf. Die Wurzel der direkt am Pfahl gepflanzten Rebe weist zwar deutlich höhere Werte im Vergleich zur Kontrollrebe auf, es ist aber bekannt, dass eine höhere Zinkkonzentration in den Wurzeln nicht notwendigerweise auf eine Anreicherung in der gesamten Pflanze hinweist. Zumindest aber besteht eine Korrelation mit vermindertem Wurzelwachstum (WHITE et al., 1979). Auf Grund der Filterfunktion der Wurzel wird bei hohen Konzentrationen das Zink im so genannten „free-space“ der Wurzel adsorbiert und kann somit im physiologischen Sinn nicht als aufgenommen gelten (MENGEL, 1984). Es wird vielmehr in Zellwänden oder Vakuolen angereichert (LONGNECKER und ROBSON, 1993). Da sich das Wurzelsystem der erwachsenen Reben hauptsächlich in 20 bis 60 cm Tiefe ausbreitet (MOHR, 1985), ist mit Schäden an den Reben, solange sich die hohen Zinkkonzentrationen auf die oberen Bodenschichten und die unmittelbare Pfahlumgebung beschränken, nicht zu rechnen. Dennoch ist bei einer Neubepflanzung eine mögliche Schädigung von Jungreben in Betracht zu ziehen, wenn sie direkt an die Pfähle gepflanzt werden. Da das kleinere Wurzelgeflecht der Jungreben auf Grund der geringeren Ausbreitung im Boden im Vergleich zu den alten Reben stärker mit den hohen Zinkgehalten in Wechselwirkung tritt, ist hier eine stärkere Zinkaufnahme vorstellbar. Signifikante Erhöhungen im Gesamtzinkgehalt in Abhängigkeit von der Pfahlentfernung wurden auch bei Untersuchungen an Begrünungspflanzen im Weinberg festgestellt (RUPP und TRÄNKLE, 2002). Hierbei variierten die gefundenen Werte zwischen 194 mg/kg TS direkt am Pfahl und 40 mg/kg TS in einer Entfernung von 1 m.

Die vorliegenden Ergebnisse spiegeln natürlich nur die Verhältnisse des untersuchten Weinbergs wider. Um hier weitergehende Aussagen über Zinkeinträge, deren Verlagerungen sowie insbesondere die Auswirkungen auf die Bodenmikroflora und die Reben treffen zu können, ist es notwendig, weitere Untersuchungen in Anlagen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen durchzuführen. Dies wird deutlich, betrachtet man die Versuche von MOHR (1985). Er ermittelte für das Rebenwachstum kritische Zinkgehalte, die je nach pH-Wert

bei 50 oder bei 500 ppm lagen. Hierbei sind in erster Linie natürlich verschiedenartige Böden von Interesse, aber auch der Einfluss von unterschiedlichen Pfählen, also die Frage nach der Verzinkungsart. In weitergehenden Untersuchungen wäre der mögliche Eintrag in die Weine mit einzubeziehen. Hierbei wäre auch ein direkter Eintrag in das Lesegut durch abplatzende Zinksplitter auf Grund der mechanischen Beanspruchung beim Einsatz von Erntemaschinen zu diskutieren. In Untersuchungen wurden Zinkgehalte im Most festgestellt, die bei einem Vollerntereinsatz um bis zu einem Drittel höher lagen als bei einer Handlese (MÜLLER, 1993).

Mit dem Einsatz verzinkter Unterstützungsvorrichtungen sind stets Zinkeinträge in den Weinbergboden verbunden. Diese können in Abhängigkeit von den jeweiligen Randbedingungen erheblich variieren. Weitgehend ungeklärt noch sind die Folgen dieser Zinkeinträge für den Weinbau.

Welche Wirkung kann nun Zink im Boden entfalten? In erster Linie gehört Zink zu den essenziellen Spurenelementen und wird als Bestandteil bzw. Co-Faktor vieler Enzyme (MERIAN, 1991) sowohl tierischer und pflanzlicher Organismen als auch von Mikroorganismen benötigt, d.h., eine Unterversorgung würde zu Mangelerscheinungen führen. Dennoch können bei der Überschreitung bestimmter Konzentrationen toxische Effekte hervorgerufen werden.

Während die direkte Gefährdung des Menschen durch Zinkeinträge in landwirtschaftlich genutzte Böden zu vernachlässigen ist, stellen hohe Zinkbelastungen der Böden auf Grund ihres phytotoxischen Potenzials und der Tendenz zur Akkumulation in Böden bei pH-Werten  $< 6$  ein ernstes ökologisches Problem dar (FELLENBERG, 1992). Die toxische Wirkung des Zinks kann bei Pflanzen in Form von Wachstumsdepressionen, Chlorosen und vermindertem Wurzelwachstum auftreten (MOHR, 1985), wobei bei Pflanzen eine weite Spanne zwischen Bedarf und Toxizität besteht (SCHIMMING, 1992). Die Toxizität beruht dabei nicht nur auf der direkten Schädigung der Pflanzen auf Grund zu hoher Konzentrationen im Gewebe, sondern auch auf der Beeinflussung der Aufnahme anderer essenzieller Elemente. Zunehmende Zinkangebote in der Bodenlösung wirken sich z.B. negativ auf den Eisengehalt der Pflanzen aus, sie beeinträchtigen u.a. die Fähigkeit der Wurzeln,  $Fe^{3+}$  zu  $Fe^{2+}$  zu reduzieren und damit Fe(III)-Salze zu nutzen (AMBERGER, 1979). Bei Bodenmikroorganismen sind u.a. eine Hemmung der Respirationsrate, eine Reduzierung des Nitrifikationsumsatzes und eine Beeinträchtigung von Mineralisierungsvorgängen durch

Zink bekannt. Da hierbei Umsatzleistungen der Mikroorganismen betroffen sind, kann dies zu einer Veränderung der Bodeneigenschaften führen (SCHIMMING, 1992). Die Relevanz dieses Themas wird deutlich, wenn man bedenkt, dass allein im größten weinbautreibenden Bundesland Deutschlands etwa 68.000 ha Rebfläche bewirtschaftet werden. Bei den eingesetzten Weinbergspfählen liegt der Anteil der verzinkten Pfähle nach Händlerschätzungen bei nahezu 90 %. Dadurch lässt sich die mögliche ökologische Dimension dieses Problems abschätzen.

Im Gegensatz zu vielen anderen Schadstoffkontaminationen von Böden, wie z.B. der mit organischen Chemikalien, die einem Abbau unterliegen, gehören Schwermetalle zu den nicht abbaufähigen Materialien, die die kontaminierten Böden über Jahrzehnte hinaus belasten (SCHÜTTMANN und AURAND, 1994). Da gerade die weinbaulich genutzten Böden im Vergleich zu den übrigen landwirtschaftlich genutzten Böden die größten Mengen an Schwermetallen aufweisen (PERRET, 1987), sollten hier weitere Einträge möglichst unterbunden oder zumindest so weit wie möglich reduziert werden. Hier stellt sich die Frage nach Alternativen zu den überwiegend genutzten verzinkten Stahlpfählen. Beton- und Kunststoffpfähle haben nur eine begrenzte Anwendung gefunden, da sie sich beim Einsatz von Erntemaschinen nicht bewähren konnten (WEBER, 1986). Bei der Verwendung von Holzpfählen ist gegenüber dem Einsatz von Metallpfählen ein höherer Arbeits- und Wartungsaufwand erforderlich. Auch entspricht die Standzeit nur bei sehr gutem Holz und sehr guter Imprägnierung der eines mit Metallpfählen bestückten Weinberges (HILLEBRAND et. al., 1992). Zusätzlich können die Imprägnierungsmittel (Teeröl, verschiedene Metallsalze, z.B. Chrom-Kupfer-Bor-Salze) ein toxikologisches Problem darstellen. Der Einsatz von rostfreien Edelstahlpfählen befindet sich noch in der Anfangsphase. Problematisch könnte hier die Materialstärke sein, so dass die Stabilität der Pfähle beim Einsatz von Erntemaschinen nicht ausreicht. Eine weitere Alternative stellt die Minimierung des Zinkabtrags an den Pfählen dar. Hier wird der Abtrag entweder durch einen Kunststoffüberzug der Zinklegierung bzw. durch haltbarere Legierungen (z.B. Zink-Aluminium-Legierungen) verringert. Alle diese Möglichkeiten sind in erster Linie mit mehr oder weniger hohen Mehrkosten verbunden, aber gerade hinsichtlich der Schwermetallsituation in den Weinanbaugebieten stellt dieser Mehraufwand unter dem Aspekt des Vorsorgeprinzips eine erwägenswerte Investition in die Zukunft dar.

## Literatur

- AMBERGER, A. (1979): Pflanzenernährung. - Stuttgart: Ulmer, 1979
- BERAN, N. 1992: Ökologische Arbeiten. Jahresber. Landes-Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau, Neustadt / Weinstr. 28-30
- (BfS, 1983): Korrosionsverhalten von feuerverzinktem Stahl - Merkblatt Nr. 400. 4. Aufl. - Düsseldorf, 1983
- BOYSEN, P. 1992: Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. Texte des Umweltbundesamtes (Berlin) 55/92
- BRÜMMER, G.W., GERTH, J. and HERMS, U. 1986: Heavy metal species, mobility and availability in soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 149: 382-398
- FARDOSSI, A., BARNA, J. und HEPP, E. 1989. Untersuchungen über das Auftreten von Chlorose bei Reben unter besonderer Berücksichtigung des Zinkgehaltes im Boden. Mitt. Klosterneuburg 39: 52-61
- FELLENBERG, G. (1992): Chemie der Umweltbelastung (Teubner-Studienbücher). 2. Aufl. - Stuttgart, Teubner, 1992
- GERTH, J. (1985): Untersuchungen zur Adsorption von Nickel, Zink und Cadmium durch Bodentonfraktionen unterschiedlichen Stoffbestandes und verschiedene Bodenkomponenten. Diss. Univ. Kiel, 1985
- HORNBERG, V. und BRÜMMER, G.W. 1993: Verhalten von Schwermetallen in Böden : Untersuchungen zur Schwermetallmobilität. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 156: 467-477
- HILLEBRAND, W., SCHULZE, G. und WALG, O. (1992): Weinbau-Taschenbuch. 9. Aufl. - Mainz: Fraund, 1992
- JOHNEN, H.J. (1981): Zink-Taschenbuch. 3. Aufl. - Berlin: Metall-Verl., 1981
- AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15.04.1992. Bundesgesetzblatt I S. 912
- LINDSAY, W.L. and NORWELL, W.A. 1978: Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428
- LONGNECKER, N.E. and ROBSON, A.D. (1993): Distribution and transport of zinc in plants. In: Robson, A.D.: Zinc in soil and plants, pp. 79-91. - Dordrecht: Kluwer, 1993
- MENGEL, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 6. Aufl. - Stuttgart: Fischer, 1984
- MERIAN, E. (1991): Metals and their compounds in the environment : Occurrence, analysis and biological relevance. Weinheim: Verlag Chemie, 1991
- MOHR, H.D. (1985): Schwermetalle in Boden, Rebe und Wein. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. - Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, 1985
- MÜLLER, D.H. 1993: Zinkbelastung für Boden und Reben. Dt. Weinmagazin (6): 19-25
- MÜLLER, D.H. 1999: Zink im Visier. Dt. Weinmagazin (18): 52-55
- PERRET, P. 1987: Belastung weinbaulicher Böden mit wurzelschädigenden Schwermetallen. Schweiz. Z. Obst und Weinbau 123: 98-104
- RAVEN, K.P. and LOEPPERT, R.H. 1997: Trace element composition of fertilizers and soil amendments. J. Environ. Qual. 26: 551-557
- RUPP, D. und TRÄNKLE, L. 2002: Zinkeintrag durch Stahlpfähle. Rebe & Wein 55(6): 28-31
- SAUERBECK, D. (1989): Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. In: Behrens, D. und Wiesner, J.: Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden. 2. Aufl., S. 281-316. - Frankfurt am Main: Dechema, 1989
- SCHAAF, H. 1997: Umweltverträgliche Verwertung von biogenen Abfallstoffen in der Landwirtschaft. Wasser und Boden 49: 36-40
- SCHIEFFER, F. und SCHACHTSCHNABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl. - Stuttgart Enke, 1992
- SCHIMMING, C.G. (1992): Belastung mit Metallen. In: Blume, H.-P.: Handbuch des Bodenschutzes. 2. Aufl., S. 277-318. - Landsberg: Ecomed, 1992
- SCHÜTTMANN, W. und AURAND, K. (1994): Umwelttoxikologie. In: Marquardt, H. und Schäfer, S.G.: Lehrbuch der Toxikologie, S. 719-736. - Mannheim: BI-Wissenschaftsverlag, 1994
- VDLUFA (1991): Methodenbuch Band I: Untersuchung von Böden. - Darmstadt, 1996
- BioAbfV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden vom 21.09.1998. Bundesgesetzblatt BRD I S. 2955.
- WALG, O. 1988: Verzinkte Weinbergspfähle : Einsatzmöglichkeiten und Grenzen. Weinwirtschaft-Anbau (8/9): 26-27
- WEBER, M. 1986: Materialien für die Erstellung der Unterstützungsvorrichtung im Weinbau. Dt. Weinbau (6): 217-220
- WHITE, M.C., DECKER, A.M. and CHANEY, R.L. 1979: Differential cultivar tolerance in soybean to phytotoxic levels of soil Zn. 1. Range of cultivar response. Agron. J. 71: 121-126

Manuskript eingelangt am 3. 12. 2003