

## Cadmiumtoxizität bei Weinreben

VON

D. RUPP, E. RÜHL und G. ALLEWELDT

### Toxicity of cadmium to grapevine

**S u m m a r y :** Cuttings of the cv. Riesling were cultivated in nutrient solutions with different amounts of cadmium.

1. Cadmium inhibited the growth of shoot and of leaf area and produced chlorosis, necroses and leaf deformations. Old leaves showed no symptoms at all, but with high cadmium levels leaf fall occurred.
2. The threshold of cadmium damage was beneath a level of 0.1 ppm Cd of the nutrient solution.
3. The dry matter production of the plants was reduced by cadmium: 0.66 mg Cd/l of nutrient solution caused an inhibition of 50 %.
4. Cadmium reduced the chlorophyll content of the leaves.
5. The transport of iron from roots to leaves was inhibited nearly completely by medium to high levels of cadmium (1.0, 3.0, 10.0 ppm). Iron was accumulated in the roots. Thus cadmium may have caused an iron deficiency chlorosis in grapevines.
6. The uptake of cadmium showed a clear dependence on the amount of cadmium in the nutrient solution. Within the plants, decreasing amounts of cadmium were found following the pattern roots — stem — leaves.

**K e y w o r d s :** cadmium, toxicity, iron, chlorosis, metabolism, symptomatology.

### Einleitung

Nachdem zunehmend auch Weinbergsböden mit Schwermetallen belastet sind, gewinnt die Frage an Bedeutung, ob Schwermetalle in der Lage sind, Weinreben zu schädigen. Fast alle bisherigen Untersuchungen zu diesem Thema wurden als Gefäß- oder Freilandversuche mit kontaminierten Siedlungsabfällen durchgeführt. Die Menge an pflanzenverfügbarem Schwermetall blieb dabei jeweils gering, Schädigungen wurden nicht beobachtet (MOHR 1979, 1980). Um aber Schadschwellen angeben zu können, muß die eventuelle Ausbildung von Schadsymptomen sowie die zugehörige Schwermetallaufnahme in Abhängigkeit von der Schwermetallbelastung erfaßt werden. Für eine Vielzahl von Pflanzenarten wurden derartige Werte bereits ermittelt (PAGE *et al.* 1972; FOROUGH *et al.* 1974, 1979; SOMMER 1978; KLOKE und SCHENKE 1979; HOFER und SCHÜTZ 1980; KLEIN *et al.* 1981). Für Reben liegen entsprechende Untersuchungen noch nicht vor, obgleich Siedlungsabfälle vor allem im Weinbau eingesetzt werden. Ziel der vorliegenden Arbeit sollte daher sein, die Schadensschwelle für Cadmium bei Reben zu ermitteln sowie mögliche Schadsymptome zu erfassen und zu beschreiben.

### Material und Methoden

1jährige Zweiaugenstecklinge der Rebsorte Riesling wurden in Nährlösung kultiviert. Als Kulturgefäße dienten Kunststofföpfe (Fassungsvermögen 5 l). Die Nährlösung hatte folgende Zusammensetzung (in mmol/l): 2,0 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O; 0,5 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>;

0,65  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,75  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;  $1 \cdot 10^{-2}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $1 \cdot 10^{-3}$   $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $8 \cdot 10^{-3}$   $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $5 \cdot 10^{-4}$   $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $5 \cdot 10^{-5}$   $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $1 \cdot 10^{-1}$  Fe als Chelat.

Die Nährlösung wurde wöchentlich gewechselt, die Belüftung der Gefäße erfolgte kontinuierlich. Cadmium wurde als Sulfat ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) der Nährlösung zugegeben. Bei jedem Nährlösungswechsel wurde Cadmium neu zugesetzt. Folgende Belastungsstufen wurden gewählt (in mg/l): Kontrolle (0); 0,1; 0,3; 1,0; 3,0; 10,0.

Für jede Variante standen 4 Wiederholungen (= 4 Töpfe) mit je 3 Pflanzen zur Verfügung. Geiztriebe wurden regelmäßig entfernt, die Versuchsdauer betrug 50 d. Das Wachstum der Pflanzen wurde regelmäßig gemessen, auftretende Schadsymptome wurden registriert. Bei gleich alten Blättern mittlerer Insertionshöhe erfolgte die Bestimmung des Chlorophyllgehalts nach HISCOX und ISRAELSTAM (1979). Gleichzeitig wurde der Blattgehalt an löslichem Eisen nach MENGEL *et al.* (1979) ermittelt. Zur Blattflächenmessung diente ein Portable Area Meter LI 3000.

Um adsorbiertes Cadmium auszutauschen, wurden die Wurzeln nach der Ernte zuerst in einer  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ -Lösung und danach in einer gesättigten  $\text{CaSO}_4$ -Lösung ausgewaschen sowie 3mal mit  $\text{H}_2\text{O}$  dest. gespült.

Zur Analyse wurde das fein gemahlene Pflanzenmaterial einer Naßveraschung ( $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ) unterzogen. Die Bestimmung von Eisen und Cadmium erfolgte mit einem Atomabsorptionsspektrophotometer Perkin Elmer 400.

### Ergebnisse

Die bereits nach wenigen Tagen erkennbare Hemmung des Triebwachstums in der höchsten Cadmiumstufe (10,0 ppm) führte 2 Wochen nach Versuchsbeginn zu Welkeerscheinungen, zu einem Erschlaffen der Triebspitzen und zu einem Stillstand des Wurzelwachstums. Weitere 14 d später hatte sich ein Großteil der Blätter kalkweißfleckig verfärbt und begann abzufallen. Nach insgesamt 35 d waren die meisten Pflanzen abgestorben.

Bei den Pflanzen der 3,0-ppm- und 1,0-ppm-Variante bildeten sich anfangs nur Chlorosen im mittleren Insertionsbereich. Die chlorotischen Aufhellungen waren sehr fein, und die Blattneratur blieb weitgehend grün. Nach 4 Wochen waren diese sowie alle jüngeren Blätter der Triebspitze leuchtend dottergelb. Keine Chlorose zeigten jene Blätter, die vor Versuchsbeginn gebildet wurden. 5 Wochen nach Versuchsbeginn zeigten ältere, chlorotische Blätter beider Cadmiumstufen ein starkes, nach oben gerichtetes Einrollen, während jüngere Blätter der 1,0-ppm-Stufe regelrechte „Krallen“ ausbildeten, die nach unten eingebogen waren. Parallel kam es jetzt zum Auftreten punktförmiger Nekrosen, die sowohl am Blattrand als auch im Interkostalbereich lagen und sich zu größeren braunen Flecken ausweiteten. Die jüngsten und neu gebildeten Blätter im Bereich der Triebspitze litten unterdessen neben der bereits bekannten Chlorose unter noch weitergehenden Störungen. Besonders bei der 1,0-ppm-Stufe zeigten die Blattspreiten deutliche Deformationen: Einzelne Blattlappen waren unvollständig oder nur in Ansätzen vorhanden. Zu diesem Zeitpunkt war bei den 3,0-ppm-Pflanzen ein Feinwurzelwachstum nicht mehr zu beobachten, eine Erholung trat nicht mehr ein.

Trotz einer im Vergleich zur Kontrolle deutlichen Wuchsminderung blieben die mit 0,3 und 0,1 mg Cd/l Nährlösung belasteten Pflanzen weitgehend symptomfrei. Das Triebwachstum wurde durch Cadmium stark gehemmt (Abb. 1). Mit Ausnahme der beiden niedrigsten Cadmiumstufen (0,1 und 0,3 ppm) waren alle Differenzen signifikant. Weniger einschneidend wirkte sich die Schwermetallbelastung auf die Blattzahl aus. Erst hohe, akut toxisch wirkende Gaben (3,0 und 10,0 ppm) führten zu einer ver-

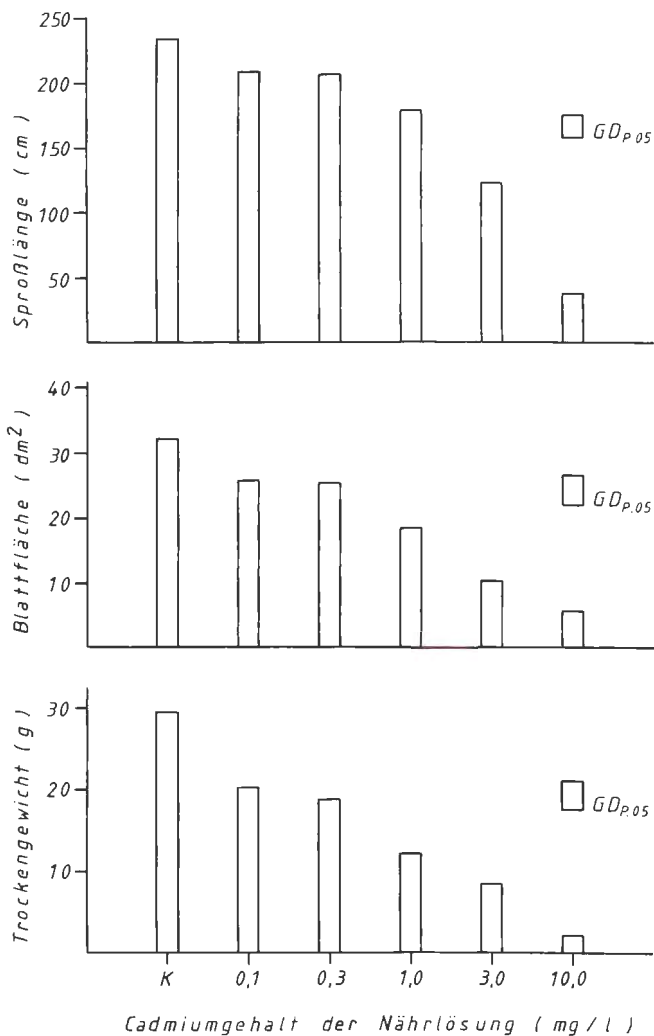


Abb. 1: Sproßlänge, Blattfläche und Trockengewicht der Rebsorte Riesling in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt der Nährlösung.

Length of shoot, leaf area and dry matter production of cv. Riesling as influenced by different amounts of cadmium in nutrient solution.

minderten Blattbildung und lösten Blattfall aus. Die Gesamtblattfläche der Versuchspflanzen wurde durch Cadmium signifikant gehemmt (Abb. 1).

Die Trockensubstanzbildung der Versuchspflanzen wurde durch Cadmium besonders stark reduziert (Abb. 1 und Tabelle 1). Bereits die niedrigste Cadmiumgabe von 0,1 ppm hemmte die Trockensubstanzproduktion um 32 %. Abb. 2 zeigt die Abhängigkeit des Chlorophyllgehalts gleich alter Blätter vom Cadmiumgehalt der Nährlösung. Während die Differenzen zwischen der Kontrolle, der 0,1- und der 0,3-ppm-Stufe nur sehr gering waren, fiel der Gehalt an Blattgrün bei der 1,0- und der 3,0-ppm-Variante

Tabelle 1

Trockengewicht (g) von Blättern, Sproßachse (mit Blattstielen) und Wurzeln der Sorte Riesling in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt der Nährlösung · In Klammern %-Werte relativ zur Kontrolle (100 %)

Dry matter production (in g) of leaves, stem (including petioles) and roots of cv. Riesling as influenced by different amounts of cadmium in nutrient solution · Figures in parentheses are percentages related to control values (100 %)

| Organ      | Cd-Gehalt der Nährlösung (mg/l) |                |                |                |               |               | GD 5 % |
|------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------|
|            | Kontrolle                       | 0,1            | 0,3            | 1,0            | 3,0           | 10,0          |        |
| Blätter    | 12,2<br>(100,0)                 | 8,7<br>(71,3)  | 8,6<br>(70,4)  | 5,3<br>(43,3)  | 4,8<br>(39,3) | 1,3<br>(10,6) | 1,6    |
| Sproßachse | 15,1<br>(100,0)                 | 9,6<br>(63,6)  | 8,9<br>(58,9)  | 6,0<br>(39,7)  | 3,6<br>(23,8) | 0,7<br>(4,6)  | 1,8    |
| Wurzeln    | 2,1<br>(100,0)                  | 1,7<br>(80,9)  | 1,4<br>(66,6)  | 1,0<br>(47,6)  | 1,0<br>(47,6) | 0,2<br>(9,5)  | 0,3    |
| Gesamt     | 29,4<br>(100,0)                 | 20,0<br>(68,0) | 18,9<br>(64,3) | 12,3<br>(41,8) | 9,4<br>(32,0) | 2,2<br>(7,5)  | 3,6    |

Tabelle 2

Eisengehalte ( $\mu\text{g/g}$ ) von Blättern, Sproßachse (mit Blattstielen) und Wurzeln der Sorte Riesling in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt der Nährlösung

Iron contents ( $\mu\text{g/g}$ ) of leaves, stem (including petioles) and roots of cv. Riesling as influenced by different amounts of cadmium in nutrient solution

| Organ      | Cd-Gehalt der Nährlösung (mg/l) |       |       |         |         |         | GD 5 % |
|------------|---------------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|--------|
|            | Kontrolle                       | 0,1   | 0,3   | 1,0     | 3,0     | 10,0    |        |
| Blätter    | 83,1                            | 57,8  | 59,0  | 67,5    | 37,9    | 12,8    | 12,9   |
| Sproßachse | 247,5                           | 212,3 | 145,0 | 154,8   | 163,7   | 414,4   | 113,5  |
| Wurzeln    | 178,4                           | 190,5 | 307,3 | 3 056,1 | 3 871,8 | 9 714,8 | 819,8  |

auf 20 bzw. 17 % des Kontrollwertes ab. Mit steigender Schwermetallbelastung nahm auch der Eisengehalt der Blätter deutlich ab. Eine ähnliche Tendenz ergab die Analyse der Sproßachsen. Am aufschlußreichsten waren aber die Eisengehalte der Wurzeln. Parallel zur Cadmiumgabe kam es hier zu einer Eisenakkumulation (Tabelle 2).

Bei den Blättern wurde auch der Anteil des löslichen Eisens bestimmt. Ähnlich wie beim Gesamteisen erzeugte die Cadmiumsteigerung auch hier eine Abnahme der Gehalte. Analog zu den Eisengehalten der Wurzeln (wenn auch umgekehrt) lag der größte Sprung zwischen der 0,3- und der 1,0-ppm-Variante. Hier fiel der Gehalt an löslichem Eisen von 21,6  $\mu\text{g Fe/g TS}$  (bei 0,3 ppm) auf 1,9  $\mu\text{g Fe/g TS}$  (bei 1,0 ppm). Auf den deutlichen Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Chlorophyll und löslichem Eisen sei hingewiesen (Abb. 2).

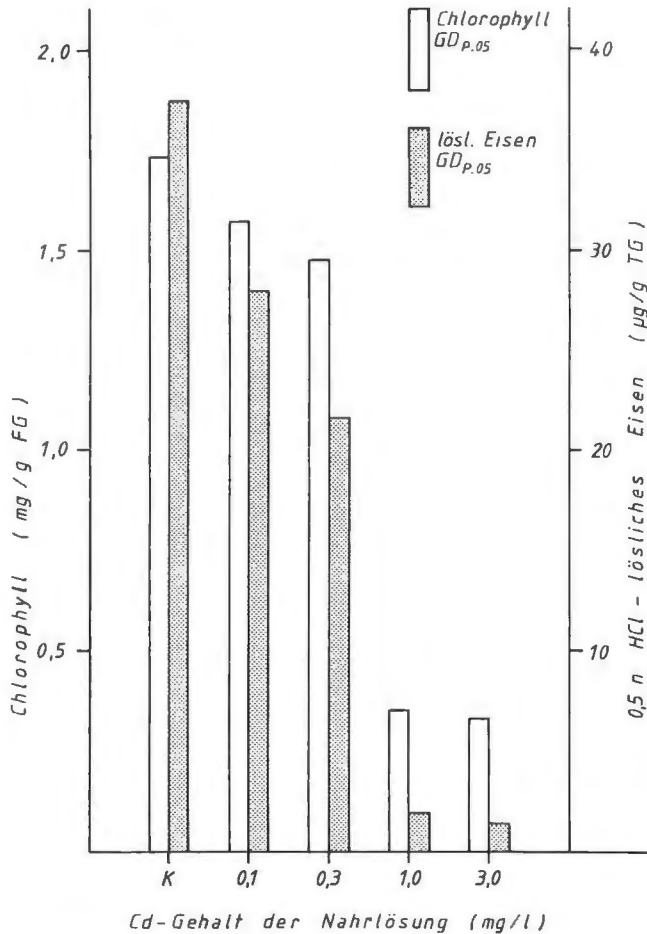


Abb. 2: Chlorophyll in der Frischsubstanz und lösliches Eisen in der Trockenmasse bei gleich alten Blättern mittlerer Insertionshöhe (24.—26. Blatt); Rebsorte Riesling.

Chlorophyll contents in fresh matter and soluble iron in dry matter of equally aged leaves (24th—26th leaves); cv. Riesling.

Die Cadmiumaufnahme ließ vor allem bei den Wurzeln eine deutliche Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt der Nährlösung erkennen (Tabelle 3). In den Sproßachsen wurde verhältnismäßig wenig Schwermetall eingelagert. Am geringsten waren jedoch die Blätter kontaminiert, teilweise konnte Cadmium mit der angewandten Methode (Flammen-AAS) nicht nachgewiesen werden. Einen Überblick über die Anreicherung des toxischen Schwermetalls in den einzelnen Organen gibt Tabelle 4. Hier sind die Konzentrationen relativiert, so daß die starke Akkumulation in Wurzeln und Sproßachsen deutlich hervortritt.

Das Wachstum der Reben (Trockengewicht, Triebblänge) ist mit dem Cadmiumgehalt der Nährlösung negativ korreliert (Abb. 3; die Cadmiumgehalte der Nährlösung sind logarithmisch zur Basis 3 aufgetragen). Eine 50 %ige Wuchshemmung wird dem-

Tabelle 3

Cadmiumaufnahme und -verteilung ( $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht) der Sorte Riesling in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt der Nährlösung

Uptake and distribution of cadmium ( $\mu\text{g/g}$  dry matter) of cv. Riesling as influenced by different amounts of cadmium in nutrient solution

| Organ                    | Cd-Gehalt der Nährlösung (mg/l) |       |       |       |         |         | GD 5 % |
|--------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|---------|---------|--------|
|                          | Kontrolle                       | 0,1   | 0,3   | 1,0   | 3,0     | 10,0    |        |
| Wurzeln                  | < 0,1                           | 17,5  | 28,6  | 560,0 | 1 100,8 | 4 375,0 | 162,2  |
| Sproßachse <sup>1)</sup> | < 0,1                           | 3,6   | 8,4   | 70,6  | 204,7   | 8,3     | 30,6   |
| Blätter                  | < 0,1                           | < 0,1 | < 0,1 | 0,2   | 0,4     | 1,6     | 0,3    |

<sup>1)</sup> Mit Blattstielen.

Tabelle 4

Der Cadmiumgehalt in verschiedenen Organen der Rebsorte Riesling in Abhängigkeit vom Cadmiumgehalt der Nährlösung · Angegeben sind relative Konzentrationen · Die Cadmiumgehalte der Nährlösung wurden jeweils gleich 1 gesetzt

Contents of cadmium in different organs of cv. Riesling as influenced by the content of cadmium of the nutrient solution · Cadmium contents of the nutrient solution were adjusted to 1 · Relative concentrations are indicated

|                          | Cd-Gehalt der Nährlösung (mg/l) |       |      |       |       |       |
|--------------------------|---------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
|                          | Kontrolle                       | 0,1   | 0,3  | 1,0   | 3,0   | 10,0  |
| Nährlösung               | —                               | 1,0   | 1,0  | 1,0   | 1,0   | 1,0   |
| Wurzeln                  | —                               | 175,0 | 95,3 | 560,0 | 366,9 | 437,5 |
| Sproßachse <sup>1)</sup> | —                               | 36,0  | 28,0 | 70,6  | 68,2  | 0,8   |
| Blätter                  | —                               | —     | —    | 0,2   | 0,1   | 0,2   |

<sup>1)</sup> Mit Blattstielen.

nach bereits bei 0,66 mg Cd/l Nährlösung erreicht, ein meßbarer Schaden (= Wachstumshemmung) tritt aber schon bei einem Nährlösungsgehalt weit unter 0,1 ppm Cd auf.

### Diskussion

Neben Chlorosen scheinen auch die anderen im Versuch gefundenen Symptome für eine Cadmiumvergiftung typisch zu sein. So kam es in Übereinstimmung mit PETERSON und ALLOWAY (1979) zum raschen Welken und Absterben bei einem sehr hohen Cadmiumgehalt der Nährlösung, während Vergilbungen und Nekrosen bei den geringeren Belastungsstufen zeitlich später auftraten. Durch Cadmium ausgelöste

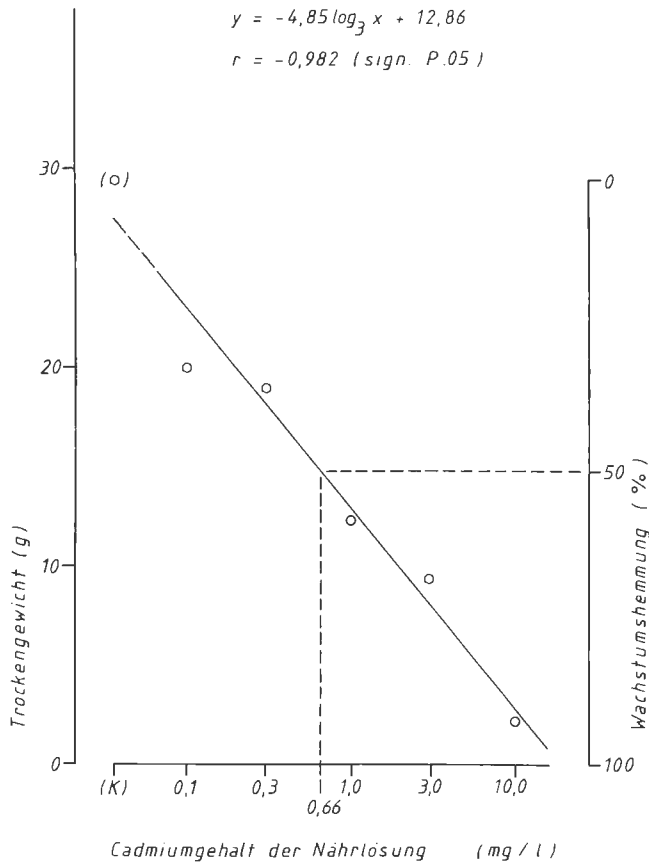


Abb. 3: Abhängigkeit der Wuchsleistung vom Cadmiumgehalt der Nährlösung bei der Rebsorte Riesling. Halblogarithmische Darstellung, Gehalte an Cadmium logarithmisch zur Basis 3. Darstellung in Anlehnung an KLEIN *et al.* (1981).

Growth productivity of cv. Riesling depending on the cadmium content of the nutrient solution. Half logarithmic presentation, cadmium content placed logarithmically to base 3. Presentation of the graph follows KLEIN *et al.* (1981).

Nekrosen sind bisher kaum beschrieben worden. Vergleichbare Erscheinungen erzeugten KLOKE und SCHENKE (1979) in Form ebenfalls rostbrauner Flecken bei Buschbohnen nach starker Cadmiumgabe (250 mg/kg Boden). Cadmiumnekrosen beobachteten auch FOROUGHI *et al.* (1979) an Spinatblättern sowie MITCHELL und FRETZ (1977) an den Nadeln 3jähriger Kiefern. Wenige Autoren berichteten über Cadmiumbedingte Mißbildungen. Nur KLOKE und SCHENKE (1979) beschrieben bei Buschbohnen deutliche Blattverkrümmungen.

Durch Cadmiumgaben verursachte Wuchs- und Ertragsminderungen sind bei vielen Pflanzenarten bekannt. 2,5 ppm Cd in der Nährlösung brachten z. B. bei Mais eine um die Hälfte verringerte Trockensubstanzbildung (KLEIN *et al.* 1981). Kopfsalat wurde durch 1,0 ppm um 60 % (HARA und SONODA 1979), Spinat durch 2,5 ppm um 40 % (FOROUGHI *et al.* 1979) und Kohlrabi durch 3,0 ppm um 40 % (FOROUGHI *et al.* 1976) gehemmt. Im vorliegenden Versuch bewirkte bereits weniger als 0,1 ppm Cd in der

Nährlösung eine Wuchsminderung um 20 %, einer 50 %igen Wuchshemmung entsprach eine Konzentration von 0,66 ppm Cd. Demnach müssen Reben zu den Cadmium-empfindlichen Arten gerechnet werden (vgl. KLEIN *et al.* 1981).

Als Ursachen einer Überschußtoxizität sind nach BERGMANN (1983) mehrere Faktoren anzunehmen. Am bedeutendsten dürfte dabei die sichtlich gestörte Chlorophyllbildung sein, die zu einer Reduktion der Photosynthese führt (BASZYNSKI *et al.* 1980). Einflüsse auf den Aminosäurenstoffwechsel werden von WEIGEL und JÄGER (1980) vermutet, während die Schädigung wichtiger Enzyme als gesichert gilt (PETERSON und ALLOWAY 1979).

Auf diese Weise könnten die gefundenen Chlorosen und Nekrosen an den Blättern der Reben erklärt werden. Doch sind in den Blattspreiten nur geringe Mengen an Cadmium nachweisbar. Bereits DE KOCK (1956) hat die Meinung vertreten, daß viele Effekte einer Schwermetalltoxizität auf einen induzierten Eisenmangel zurückzuführen seien. Interessant erscheinen daher vor allem die mit zunehmender Cadmiumbelastung abnehmenden Eisengehalte der Blattspreiten und die gleichzeitig übermäßig ansteigenden Eisengehalte der Wurzeln. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß es sich bei der „Cadmiumchlorose“ um eine „Eisenchlorose“ handelt. Sehr deutlich ist der Zusammenhang zwischen gut sichtbarer Chlorose, niedrigem Chlorophyllgehalt und einem geringen Anteil an löslichem Eisen. Die Bedeutung des löslichen Eisens für das Auftreten von Chlorosen wurde bereits mehrfach beschrieben (BERGMANN und NEUBERT 1976; MENGEL *et al.* 1979). Da nach einigen Autoren der Eisentransport und besonders die Xylembeladung mit Eisenionen stark atmungsabhängig ist (CLARKSON und SANDERSON 1978) und ferner WEIGEL und JÄGER (1980) bei Bohnenwurzeln mit einem hohen Cadmiumgehalt eine Hemmung des Zitronensäurezyklus und eine verringerte Wurzelatmung feststellten, dürften bei den sehr hohen Cadmiumgehalten der Rebwurzeln ähnliche Stoffwechselstörungen für die beobachteten Schadsymptome verantwortlich gemacht werden.

Von besonderem Interesse ist die Beobachtung, daß eine Hemmung des Triebwachstums bei relativ geringen Cadmiumgaben (0,1 und 1,0 ppm Cd) ohne begleitende Chlorosesymptome aufgetreten ist. Es wird vermutet, daß Cadmium einen Hemmeffekt auf den Hormonstoffwechsel der Wurzel — Cytokinin — ausgeübt hat.

### Zusammenfassung

Stecklinge der Rebsorte Riesling wurden in Nährlösung bei unterschiedlich hohen Cadmiumgaben kultiviert.

1. Cadmium führte zu einer Hemmung des Triebwachstums und der Blattfläche, zur Ausbildung von Chlorosen und Nekrosen und zu Blattdeformationen. Ältere Blätter blieben unbeeinflusst; bei den stark belasteten Varianten kam es zu Blattfall.
2. Die Schadschwelle für Cadmium liegt unter 0,1 ppm Cd in der Nährlösung.
3. Die Trockensubstanzproduktion der Versuchspflanzen wurde durch Cadmium reduziert: Bereits 0,66 mg Cd/l Nährlösung führten zu einer Reduktion um 50 %.
4. Cadmium führte zu einer Verminderung des Chlorophyllgehaltes der Blätter.
5. Der Eisentransport von den Wurzeln zu den Blättern wurde durch mittlere bis hohe Cadmiumgaben (1, 3, 10 ppm) fast ganz unterbunden; in den Wurzeln kam es zu einer Eisenakkumulation. Cadmium ist offensichtlich in der Lage, bei Reben eine Eisenmangelchlorose auszulösen.
6. Die Cadmiumaufnahme war deutlich vom Cadmiumgehalt der Nährlösung abhängig. Innerhalb der Pflanzen konnte eine starke Abnahme der Cadmiumkonzentration von der Wurzel über die Sprossachse zum Blatt nachgewiesen werden.



## Literaturverzeichnis

- BASZYNSKI, T.; WAJDA, C.; KRÓL, M.; WOLIŃSKA, J.; KRUPA, Z.; TUKENDORF, J.; 1980: Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. *Physiol. Plant.* **48**, 365—370.
- BERGMANN, W.; 1983: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen — Entstehung und Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- — ; NEUBERT, P.; 1976: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse zur Ermittlung von Ernährungsstörungen und des Ernährungszustandes von Pflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- CLARKSON, D. T.; SANDERSON, J.; 1978: Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. Tracer and microautoradiographic studies. *Plant Physiol.* **61**, 731—736.
- DE KOCK, P. C.; 1956: Heavy metal toxicity and iron chlorosis. *Ann. Bot.* **20**, 133—141.
- FOROUGH, M.; HOFFMANN, G.; TEICHER, K.; VENTER, F.; 1974: Die Wirkung steigender Gaben von Blei, Cadmium, Chrom, Nickel oder Zink auf Kopfsalat nach Kultur in Nährlösung. *Landw. Forschung Kongreßband 32/1*, 37—46.
- — ; — — ; — — ; — — ; 1976: Die Wirkung steigender Gaben von Blei, Cadmium, Chrom, Nickel oder Zink auf Spinat in Nährlösung. *Landwirtsch. Forsch.* **32**, 599—606.
- HARA, T.; SONODA, Y.; 1979: Comparison of the toxicity of heavy metals to cabbage growth. *Plant and Soil* **51**, 127—133.
- HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, C. F.; 1979: A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canad. J. Bot.* **57**, 1332—1334.
- HOFER, H.; SCHÜTZ, E.; 1980: Beitrag zur Ermittlung der pflanzlichen Schadgrenze von Schwermetallen. *Mitteil. f. d. Schweiz. Landwirtsch.* **28** (3), 66—77.
- KLEIN, H.; PRIEBE, A.; JÄGER, H.-J.; 1981: Grenzen der Belastbarkeit von Kulturpflanzen mit dem Schwermetall Cadmium. *Angew. Bot.* **55**, 295—308.
- KLOKE, A.; SCHENKE, H.-D.; 1979: Der Einfluß von Cadmium im Boden auf den Ertrag verschiedener Pflanzenarten und deren Cadmiumgehalt. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **142**, 131—136.
- MENGEL, K.; SCHERER, W.; MALISSIOVAS, N.; 1979: Die Chlorose aus der Sicht der Bodenchemie und Rebenernährung. *Mitt. Klosterneuburg* **29**, 151—156.
- MITCHELL, C. D.; FRETZ, T. A.; 1977: Cadmium and zinc toxicity in white pine, red maple and Norway spruce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **102**, 81—84.
- MOHR, H.-D.; 1979: Einfluß von Müll-Klärschlamm-Kompost auf den Schwermetallgehalt von Weinbergsböden, Reborganen und Most. *Weinberg und Keller* **26**, 333—344.
- — ; 1980: Schwermetallgehalt von Wurzel und Sproßorganen der Rebe (*Vitis vinifera* L.) nach Düngung mit Müllklärschlammkompost. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **143**, 129—139.
- PAGE, A. L.; BINGHAM, F. T.; NELSON, C.; 1972: Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. *J. Environ. Quality* **1**, 288—291.
- PETERSON, P. J.; ALLOWAY, B. J.; 1979: Cadmium in soils and vegetation. In: WEBB, M. (Ed.): *The Chemistry, Biochemistry and Biology of Cadmium*. Elsevier / North Holland Biomedical Press, Amsterdam, New York, Oxford.
- SOMMER, G.; 1978: Gefäßversuche zur Ermittlung der Schadgrenzen von Cd, Cu, Pb und Zn im Hinblick auf den Einsatz von Abfallstoffen in der Landwirtschaft. *Landwirtsch. Forschung, Sonderheft 35*, 350—364.
- WEIGEL, H. J.; JÄGER, H. J.; 1980: Different effects of cadmium *in vitro* and *in vivo* on enzyme activities in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Z. Pflanzenphysiol.* **97**, 103—113.

Eingegangen am 23. 11. 1984

Prof. Dr. G. ALLEWELDT  
Lehrstuhl für Weinbau  
Universität Hohenheim  
D 7000 Stuttgart 70