

**ANBAUEMPFEHLUNGEN FÜR MIT THALLIUM BELASTETE BÖDEN:
EINFLUSS VON PFLANZENART UND SORTE
AUF DIE THALLIUMAUFNAHME**

H. Kurz¹, R. Schulz² and V. Römheld²

¹Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, ²Institut für Pflanzenernährung,
Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart, Germany

EINLEITUNG

Thallium (Tl) ist in der Medizin schon seit langem als toxisches Schwermetall bekannt. Seit Ende der siebziger Jahre gewann es als Umweltschadstoff zunehmend Bedeutung (Makridis, 1987). Die LD₅₀ von Tl beträgt für Menschen 8-12 mg Tl kg⁻¹ (Mulkey und Oehme, 1993). Tl kommt meist mit anderen Schwermetallen in sulfidischen Erzen und Gesteinen vor und verbleibt nach Abrösten dieser Materialien im Abbrand. Bis Ende der siebziger Jahre wurden Schwefelkiesabbrände in der Zementproduktion als Zuschlagstoffe zur Verbesserung der Abbindeigenschaften des Zements eingesetzt (Hoffmann et al., 1982). Durch Verwendung solcher Rohstoffe bei der Herstellung von Eisenportlandzement wurden in Lengerich (Nordrhein-Westfalen) ca. 2000 µg Tl m⁻² d⁻² imittiert. Nach Absetzen dieses Rohstoffes konnten die Tl-Emissionen auf < 20 µg Tl m⁻² d⁻² reduziert werden (Scholl und Metzger, 1981). In diesem Zusammenhang durchgeführte Untersuchungen von Böden und Pflanzen im Umfeld von anderen Zementwerken in Baden-Württemberg, ergaben insbesondere in Leimen erhöhte Tl-Gehalte in Boden- und Pflanzenproben. Aufgrund der räumlichen Verteilung auch entgegen der Hauptwindrichtung, konnte die Annahme einer alleinigen Verursachung durch das Zementwerk in Leimen nicht bestätigt werden. Vielmehr muss angenommen werden, dass die Kontamination in großem Maße durch den dort jahrhundertlang betriebenen, inzwischen eingestellten Erzbergbau und die Verfrachtung des dabei anfallenden Abraumes in die Umgebung entstanden ist (Hoffmann et al., 1982).

In der Folgezeit wurden weitere Untersuchungen zur Ökotoxikologie von Tl durchgeführt (Prinz et al., 1979; Crößmann, 1984; Scholl und Metzger, 1981; Hoffmann et al., 1982; Zartner-Nyilas et al., 1983, Kurz et al., 1997 a, Kurz et al., 1999). Im Boden wird Tl kaum verlagert und dadurch bei zunehmender Immission stark angereichert (Scholl und Metzger, 1981). Die Pflanzenverfügbarkeit von Tl im Boden wird nicht nur durch bodenphysikalische Parameter wie Tongehalt, pH-Wert, Kationenaustauschkapazität etc., sondern auch durch die Art der Kontaminationsquelle bzw. die

chemische Form der Emissionen beeinflusst. Darüber hinaus wird die Pflanzenverfügbarkeit von Tl offensichtlich im Laufe der Zeit durch Festlegung in schwerer mobilisierbare Bindungsformen vermindert (Cröbmann, 1984; Kick et al., 1981).

Bei gleichen Bodengehalten zeigen Pflanzen artspezifische Unterschiede in der Tl-Aufnahme. Während Wurzelgemüsearten wie z.B. Sellerie und Möhren keine nennenswerte Akkumulation im Vergleich zu den Bodengehalten aufweisen (Anke, 1989), reichern einige thallophe Pflanzenarten (z.B. *Brassicaceen* wie Grünrap und Grünkohl (Cröbmann, 1984)) das Tl auf das Mehrfache der Bodengehalte in der Pflanze an. Bei Weißkohl kann dieser Transferfaktor ($\text{mg Tl kg}^{-1} \text{ Pflanze} \div \text{mg Tl kg}^{-1} \text{ Boden}$) bis zu 250, bei Kopfsalat bis zu 20 betragen. Insbesondere zeigen einige Vertreter der Familie der *Brassicaceen* eine sehr hohe Akkumulation von Tl auch bei vergleichsweise geringen pflanzenverfügbaren Bodengehalten.

Die Schwermetallgehalte in Pflanzen werden durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Dazu gehören vor allem die angebotene Stickstoffform, die Pufferkapazität der Böden, der Genotyp sowie die Fähigkeit von Pflanzen, den pH-Wert in der Rhizosphäre um mehr als zwei pH-Einheiten abzusenken (Marschner, 1995; Marschner und Römheld, 1996). Von großer Bedeutung sind auch Unterschiede in der Aufnahme und Verlagerung von der Wurzel in den Sproß.

Unterschiede in der Schwermetallverlagerung von den Wurzeln in den Spross wurden bei Genotypen derselben Pflanzenart nachgewiesen (Florijn et al., 1993). Die große Wurzeloberfläche des weitverzweigten und feinstrukturierten Wurzelsystems der *Brassicaceen* könnte eine Rolle spielen. Zu dem bestehen offensichtlich Zusammenhänge zwischen der Tl-Aufnahme und dem Schwefelstoffwechsel (Günther und Umland, 1988; LaCoste et al., 2001; eigene Untersuchungen, unveröffentlicht).

In Nährlösungsversuchen ist die Aufnahme von radioaktiv markiertem Tl bei Grünkohl um den Faktor 30 höher als bei Weißkohl. Die Unterschiede in der Verlagerung von den Wurzeln in den Sproß sind deutlich geringer. (Kurz et al., 1997 b; Al Najar 2002, pers. Mitteilungen).

Da Tl im tierischen und menschlichen Organismus als Epithel- und Nervengift wirkt und Veränderungen der Haut, Haarausfall, sowie Schäden an Leber und Nieren und Veränderungen der Psyche nach sich zieht, wurden zum Schutz des Verbrauchers 1993 in Baden-Württemberg Anbauempfehlungen und -verbote für mit Tl belastete Flächen erlassen (3. VwV Schadstoffe; 2). Diese Empfehlungen sind teilweise in die 1999 veröffentlichte Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV; 4) eingegangen.

PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

1979 wurde nach dem Störfall im Zementwerk in Lengerich ein vorläufiger Richtwert für Tl in Nahrungs- bzw. Futterpflanzen von $0,5 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$ festgesetzt (Scholl und Metzger, 1981). Der 1997 veröffentlichte BGA-Richtwert von $0,1 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$ (Anonym, 1997) wurde im Jahre 2000 zurückgezogen (Anonym, 2000). Die BBodSchV gibt als Prüfwert unabhängig von der Pflanzenart $100 \text{ } \mu\text{g Gesamt-Tl kg}^{-1} \text{ Feinboden}$ für den Schadstoffübergang Boden-Nutzpflanze auf Ackerbauflächen und in Nutzgärten im Hinblick auf die Pflanzenqualität an (Anonym, 1999). Forschungsergebnisse von Feldversuchen in Lengerich zeigen jedoch ein differenzierteres Bild des Akkumulationsverhaltens von einzelnen Gemüsearten und dies auch bei höheren NH_4NO_3 -extrahierbaren Tl-Gehalten im Boden (bis zu $440 \text{ } \mu\text{g Tl kg}^{-1} \text{ TS}$; (Crößmann, 1994); Tab. 1). Im folgenden werden die Ergebnisse eines Projektes zur Überprüfung und Erarbeitung von Anbauempfehlungen und -beschränkungen für mit Tl belastete Böden dargestellt.

Tabelle 1

MATERIAL UND METHODEN

Feldversuche

Die Feldversuche wurden von 1994-1996 mit einem durch Emissionen eines Zementwerkes mit Tl und anderen Schwermetallen belasteten Boden durchgeführt. Hierzu wurde auf einer Fläche von ca. 500 m^2 die Ackerkrume eines unbelasteten Versuchsfeldes in Stuttgart-Hohenheim gegen belastetes Bodenmaterial aus dem Emissionsgebiet des Zementwerkes in Leimen (Baden-Württemberg) bis zu einer Tiefe von ca. 30 cm ausgetauscht. Die Versuche wurden als Großparzellenversuche mit vier Wiederholungen pro Pflanzenart angelegt. Die Einzelparzellengröße betrug zwei m^2 . Zur Saat bzw. Pflanzung wurden handelsübliche Sorten verwendet (Tab. 2). Die Unkrautbekämpfung wurde weitgehend mechanisch durchgeführt und die Düngung dem Bedarf der Pflanzen angepasst.

Tabelle 2

Gefäßversuche

Die Gefäßversuche wurden mit bedarfsgerecht gedüngtem Feldversuchsboden aus Leimen durchgeführt. Folgende handelsübliche Sommerrapssorten wurden angebaut: Amadeus, Arista, Astor, Bingo, Callypso, Evita, Golda, Helga, Iris, Jumbo, Kardinal, Lambada, Licolly, Licosmos, Lirawell, Lisonne, Maliras, Nimbus, Optima, Orakel, Orly, Petranova, Spok, Sponsor, Star, Tiger, Triolo und Unica. Bei den Versuchen mit Grünkohl wurden folgende Genotypen verwendet: Bornick, Buffalo, Darkibor, Frosty, Halbhoher grüner krauser, Kobolt, Matrix, Reflex, Showbor,

Starbor, Vates, Vitessa, Westländer halbhoher Verdura, Westländer halbhoher Wundergrün und Winterbor.

Die Ernte erfolgte bei Sommerraps nach 40 Tagen und bei Grünkohl nach 50 Tagen Versuchsdauer. Der Erntezeitpunkt war so gewählt, dass genügend Pflanzenmaterial zur Verfügung stand, aber keine zu starke „Verdünnung“ der Schwermetallgehalte, insbesondere bei Genotypen mit geringer Tl-Aufnahme, durch verstärktes Massenwachstum auftrat. Lehn (1988) konnte zeigen, dass bei Raps die Tl-Gehalte im Spross zwischen der 3. und 7. Woche nach Aussaat abnehmen.

Bodenanalysen

Die Analyse der Bodenproben erfolgte mit lufttrockenem Feinboden (< 2 mm). Die Bestimmung der Schwermetallgesamtgehalte erfolgte nach VDLUFA-Methodenbuch (VDLUFA, 1996) bzw. analog der BBodSchV (Anonym, 1999). Die Bestimmung des NH_4NO_3 -extrahierbaren Tl im Boden wurde nach Prüss (1992) durchgeführt.

Pflanzenanalysen

Die Bestimmung der Schwermetallgehalte in dem getrockneten und fein vermahlenden Pflanzenmaterial erfolgte nach der VDLUFA-Standardmethode (VDLUFA, 1996) durch Druckaufschluss mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ im Mikrowellensystem (MLS mega 1200). Die Tl-Gehalte wurden mittels Graphitrohr-AAS (UNICAM 939) bestimmt.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Tl im Boden

Die Bodenart der Kontrollfläche war lehmiger Ton (Tongehalt 24%), die der schwermetallbelasteten Versuchsfläche schluffiger Lehm (Tongehalt 14%). Die pH-Werte der Böden lagen bei pH 6,8-7,2, die Humusgehalte in beiden Böden bei 1,4 %.

Die Ergebnisse der Schwermetallanalysen der Versuchsflächen zeigt Tabelle 3.

Hinsichtlich der Königswasser-extrahierbaren Schwermetallgehalte (Gesamtgehalte) gibt die BBodSchV (Anonym, 1999) nur für Arsen und Quecksilber einen Prüfwert für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze an (200 mg As kg⁻¹ Feinboden bzw. 5 mg Hg kg⁻¹ Feinboden). Die As-Gehalte des Versuchsbodens wurden nicht untersucht.

Hinsichtlich der leicht löslichen Schwermetallgehalte (Ammonium-Nitrat-Extraktion) unterschreitet der schwermetallbelastete Versuchsboden den Prüfwert (Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze) laut BBodSchV (Anonym, 1999) von 100 µg Tl kg⁻¹ Feinboden knapp.

Tabelle 3

Tl-Gehalte in den angebauten Pflanzenarten

Die Tl-Gehalte der von 1994 - 1996 angebauten Pflanzenarten zeigt Tabelle 4.

Die Tl-Gehalte der Pflanzen lagen auf dem Kontrollboden mit Ausnahme von Kohlrabiblättern (1994 und 1996), Sommerraps (1995), Sommerrüben (1996), Möhrenkraut (1996) und Zwiebel-Restspross (1996) unter 0,1 mg Tl kg⁻¹ TS.

Auf dem Kontrollboden wurden 1994 Tl-Gehalte von über 0,1 mg kg⁻¹ TS nur bei Kohlrabiblättern und im Sproß von Sommerraps nachgewiesen.

Auf dem mit Tl belasteten Boden wiesen nur Vertreter der Familie der Brassicaceen (Grünkohl 1994 und 1995, Kohlrabiblätter 1994, Kohlrabiknollen 1996, Weißkohl 1995 und Sommerraps 1994 und 1995) erheblich Tl-Gehalte von mehr als 1 mg Tl kg⁻¹ TS auf. Bei den anderen Pflanzenfamilien waren zwar teilweise signifikante Erhöhungen der Tl-Gehalte festzustellen, diese waren jedoch mit Ausnahme von Zucchini (Restspross) relativ schwach ausgeprägt und lagen unter 1 mg Tl kg⁻¹ TS. Die Verteilung von Tl in den verschiedenen Pflanzenteilen war von der Pflanzenart abhängig. Während bei Kohlrabi die Blätter ca. 180fach höhere Tl-Gehalte als die Knollen aufwiesen, zeigten Möhren keine Unterschiede zwischen den Tl-Gehalten der verschiedenen Pflanzenteile.

Tabelle 4

Ein Vergleich der Tl-Gehalte der untersuchten Pflanzenarten mit Literaturdaten ist nur eingeschränkt möglich, da die Tl-Gehalte in den Böden der einzelnen Versuchsansteller stark variieren und teilweise gegenüber dem Tl-Gehalt des in dieser Untersuchung verwendeten Bodenmaterials stark erhöht waren (Hoffmann et al., 1982; Scholl und Metzger, 1981). Lediglich die Untersuchungen von Crößmann (1994) wurden mit vergleichbar belastetem Boden durchgeführt. Die Tl-Gehalte sind jedoch nur in der Frischsubstanz angegeben. Bei Grünkohl stellte der Autor ein erhöhtes Akkumulationsverhalten für Tl fest ($> 0,2 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$), nicht aber für Weißkohl und Kohlrabi. Andere Untersuchungen fanden hingegen auch bei Weißkohl und Kohlrabi erhöhte Tl-Gehalte (Macholz et al., 1990).

Tl-Transferfaktoren für angebauten Pflanzenarten

Zur Abschätzung des Akkumulationsverhaltens der angebauten Pflanzenarten wurden die Transferfaktoren ($\text{mg kg}^{-1} \text{ TS Pflanze} \div \text{mg kg}^{-1} \text{ TS Boden}$) der verzehrbaren Pflanzenteile berechnet (Tab. 5).

Tabelle 5

Nach Baker (1981) sind Pflanzen mit einem Schwermetall-Transferfaktor größer 1 „Akkumulatorpflanzen“, Pflanzen mit einem Transferfaktor kleiner 1 „Exkluderpflanzen“. Übertragen auf die Versuchsergebnisse sind die *Brassicaceen* Grünkohl (Tl-Transferfaktor 1995: 9,7) Weißkohl (Transferfaktor 1996: 3,1), Kohlrabi (Transferfaktor 1996: 1,3) und Sommerraps (Transferfaktor 1995: 8,9) Tl-Akkumulatoren, während alle anderen in diesem Projekt angebauten Pflanzenarten Tl-Exkluderpflanzen (Transferfaktoren $< 0,6$) sind.

Hoffmann et al. (1982) berechneten für Raps Transferfaktoren von 4,6 bis 6,4, allerdings auf Böden mit weitaus höheren Tl-Gehalten ($5,5 - 21 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ Boden}$). Für Radies und Kopfsalat berechneten die Autoren auf allen Böden Transferfaktoren von kleiner als 1. Lehn (1988) fand in Gefäßversuchen für Sommerraps einen Transferfaktor von 4,9 und für Senf, Weizen, Gerste und Mais Transferfaktoren kleiner als 1.

Überschreitung der Lebensmittelrichtwerte durch die angebauten Pflanzenarten

Da die bis zum Jahre 2000 gültigen Lebensmittelrichtwerte auf die Frischsubstanz bezogen sind (Anonym, 1997, Anonym, 2000), wurden die Gehalte in der Trockensubstanz mit dem ermittelten TS/FS-Verhältnis umgerechnet und mit den im Bodenschutzgesetzes von Baden-Württemberg bestehenden Anbaubeschränkungen für Tl-belastete Flächen verglichen (Tab. 6).

Der Lebensmittelrichtwert von $0,1 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$ für verzehrbare Pflanzenteile wurde 1994 nur von Grünkohlblättern überschritten, mit einem Gehalt von ca. $1,35 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$ allerdings erheblich.

1995 zeigten Grünkohlblätter ($1,76 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$) und Weißkohl (verzehrbare Pflanzenteile: $0,48 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$) eine Überschreitung des Lebensmittelrichtwertes. 1996 wurde der Lebensmittelrichtwert von Kohlrabiknollen überschritten ($0,17 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ FS}$).

Laut der Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz (Anonym, 1993) sind jedoch darüber hinaus folgende Pflanzenarten vom Anbau ausgeschlossen: Salat, Rote Beete, Sellerie, Blumenkohl und Petersilie. Die 1993 in der Verwaltungsvorschrift herausgegebenen Prüf- und Belastungswerte basieren hauptsächlich auf einer relativ begrenzten Datengrundlage, die aus den späten 70er bzw. frühen 80er Jahren stammt. Einerseits repräsentieren diese Daten nicht mehr die aktuelle Belastungssituation, andererseits werden andere Sorten verwendet. Die eigenen Versuchsergebnisse zeigen jedoch, dass auch diese Pflanzenarten ohne Überschreitung des bis 2000 gültigen Lebensmittelrichtwertes für Tl (Anonym, 1997, Anonym, 2000) auf dem verwendeten Tl-belasteten Boden angebaut werden könnten.

Tabelle 6

Genotypische Unterschiede in der Tl-Aufnahme von Sommerraps und Grünkohl

Genotypische Unterschiede in der Schwermetallaufnahme, insbesondere von Cadmium, wurden in der Literatur bereits mehrfach beschrieben (Rosopulo und Diez, 1981; Brüne et al., 1982; Florijn et al., 1991; Florijn und van Beusichem, 1993a; Florijn und van Beusichem, 1993b; Brodowski und Baumecker, 1994; Kloke, 1994). Eigene Untersuchungen zu dieser Fragestellung zeigen, dass die Ausprägung genotypischen Unterschiede in der Tl-Aufnahme stark zwischen Pflanzenarten schwanken kann. So zeigte Sommerraps sowohl im Gefäß- (Abb. 1; $44,8\text{-}71,3 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ TS}$) als auch im Feldversuch (Abb. 2; $9,7\text{-}18,8 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ TS}$) nur sehr geringe genotypische Unterschiede in der Tl-Aufnahme.

Abbildungen 1 + 2

Im Gegensatz zu Sommerraps zeigte Grünkohl sowohl im Gefäßversuch (Abb. 3) mit Tl-Gehalten im Spross von $0,7\text{-}24,1 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ TS}$, als auch im Feldversuch (Abb. 4) mit Tl-Gehalten von $0,5\text{-}11,7 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ TS}$ deutliche Unterschiede in der Tl-Aufnahme. Es können zwei Gruppen unterschieden werden: eine Gruppe mit sehr geringen Tl-Gehalten $< 5 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ TS}$ und eine Gruppe mit hohen Tl-Gehalten von mehr als $10 \text{ mg Tl kg}^{-1} \text{ TS}$. Offensichtlich handelt es sich hierbei um eine abstammungsbedingte Differenzierung in der Tl-Aufnahmekapazität. Die Grünkohlarten mit hoher Tl-Aufnahmekapazität kommen ausschließlich aus dem Sortiment des gleichen Züchters.

Abbildungen 3 + 4

Insgesamt zeigen diese Ergebnisse, dass verschiedene Pflanzenarten ausgeprägte genotypische Unterschiede in der Schwermetallaufnahme aufweisen können. Darüber hinaus zeigt sich insbesondere für Grünkohl, dass ein einheitlicher Grenz- bzw. Richtwert ohne Berücksichtigung von Sorteneigenschaften dem Anbau dieser Pflanzenart auf mit TI belasteten Flächen nicht gerecht wird. Hiermit wird deutlich, welchen Bedeutung der Pflanzenzüchtung an der Minimierung der Schwermetalleinträge in die Nahrungskette zukommen kann.

Bewertung der bestehenden Anbaurichtlinien für mit TI belastete Böden

Auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungen ist der Verzehr der angebauten Nahrungspflanzen mit Ausnahme von Grünkohl, Weißkohl und Kohlrabi bei küchenfertiger Aufbereitung (Waschen, ggf. Entfernen der äußeren Blätter, Schälen) auch bei Bodenbelastungen von über $100 \mu\text{g NH}_4\text{NO}_3$ -extrahierbares TI kg^{-1} Boden (Anonym, 1999) als unbedenklich einzustufen. Die küchenfertige Aufbereitung sollte vor allem bei Nahrungspflanzen erfolgen, die im Boden bzw. bodennah wachsen (z.B. Möhren, Radies, Salat etc.), da hierdurch eventuelle Oberflächenkontaminationen mit TI-belasteten Bodenpartikeln weitgehend ausgeschlossen werden können. Eine Anhebung des in der BBodSchV bestehenden Prüfwertes für TI erscheint für Pflanzenarten, die nicht zu den Brassicaceen gehören, aufgrund der erzielten Versuchsergebnisse vertretbar.

Dagegen erscheint für Grünkohl und Weißkohl der bestehende Prüfwert für TI insofern als zu hoch, als in diesen Pflanzenarten der Lebensmittelrichtwert um das 17,6fache (Grünkohl) bzw. um das 5fache (Weißkohl) überschritten wurde. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist bei diesen Pflanzenarten bereits unterhalb des Prüfwertes mit einer Überschreitung des Lebensmittelrichtwertes zu rechnen. Darüber hinaus sollten die bei einzelnen Pflanzenarten vorhandenen sortenbedingten Unterschiede in der TI-Aufnahme in die Anbaubeschränkungen und -verbote Eingang finden. Durch die offizielle Beurteilung des TI-Aufnahmeverhaltens z.B. im Rahmen der Sortenbewertung durch das Bundessortenamt und Veröffentlichung der Ergebnisse in der Bundessortenliste könnte ein weiterer Beitrag zur Verminderung der Schwermetalleinträge in die Nahrungskette erbracht werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Thallium (Tl) ist in der Medizin schon seit langem als toxisches Schwermetall bekannt. Seit Ende der siebziger Jahre gewann es als Umweltschadstoff zunehmend Bedeutung. Im Boden wird Tl kaum verlagert und dadurch bei zunehmender Immission stark angereichert. Die Pflanzenverfügbarkeit von Tl wird nicht nur durch Bodeneigenschaften, sondern auch durch die Art der Kontaminationsquelle bzw. die chemische Form der Emissionen beeinflusst. Bei gleichen Bodengehalten zeigen Pflanzen artspezifische Unterschiede in der Tl-Aufnahme. Da Tl im tierischen und menschlichen Organismus als Epithel- und Nervengift wirkt und Veränderungen der Haut, Haarausfall, sowie Schäden an Leber und Nieren und Veränderungen der Psyche nach sich zieht, wurden zum Schutz des Verbrauchers 1993 in Baden-Württemberg Anbauempfehlungen und -verbote für mit Tl belastete Flächen erlassen (3. VwV Schadstoffe; 2). Diese Empfehlungen sind teilweise in die 1999 veröffentlichte Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Anonym, 1999) eingegangen.

Zusammenfassend können auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse folgende Empfehlungen für den Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen auf mit Tl belasteten Flächen gemacht werden:

1. Für die Nahrungspflanzen Grünkohl und Weißkohl ist der laut BBodSchV bestehende Prüfwert als zu hoch einzustufen. Zur Vermeidung von Schwermetalleinträgen in die Nahrungskette sollte der Anbau dieser Pflanzenarten auf Flächen mit einer Tl-Belastung von $> 20 \mu\text{g}$ extrahierbarem Tl kg^{-1} Boden unterbleiben.
2. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, nach Untersuchung der sortenspezifischen Unterschiede in der Tl-Aufnahme, einzelne Sorten für den Anbau auf geringbelasteten Flächen freizugeben. Dies könnte z.B. durch Bewertung des Aufnahmeverhaltens für Tl und andere Schwermetalle durch das Bundessortenamt und anschließende Veröffentlichung in der Bundessortenliste erfolgen.
3. Für die übrigen in dieser Untersuchung angebauten Nahrungspflanzen sind die bestehenden Anbaubeschränkungen als ausreichend einzustufen bzw. könnten für die nicht zur Familie der *Brassicaceen* gehörende Pflanzenarten sogar aufgehoben werden.

SUMMARY

Cultivation recommendations for soils contaminated with Thallium - Influence of genotypes on the uptake of Thallium.

Thallium (Tl) has already been for a long time well-known as toxic heavy metal for humans. Since end of the seventies it became increasingly important as environmental pollutant. In soils Tl is strongly bound and therefore enriched with increasing immission. The plant availability of Tl is influenced as well by physical and chemical soil properties, as by the source of contamination and the chemical form of the emission. Plants show species-dependending differences in Tl-accumulation. Tl acts in animal and human organisms as epithelia- and neurotoxine and causes diseases of the skin, loss of hair, and diseases of liver and the kidneys and psychosis. Therefore, to avoid contamination of the food chain by Tl, food production on soils contaminated with Tl is restricted by law, if heavy metal contents of the soils exceed the governmental limits.

In summary the following recommendations for the cultivation of food and fodder plants on soils contaminated with Tl can be made:

1. For the kale and white cabbage the limiting value according to BBodSchV is too high. To avoid contamination of the food chain by Tl the cultivation of these crops on soils with more than 20 $\mu\text{g Tl kg}^{-1}$ soil extractable with NH_4NO_3 should be omitted.
2. Beyond that, after investigation of the sort specific differences in Tl accumulation, sorts could be allowed for cultivation on low-contaminated soils. This could be done by an evaluation of the sort-specific accumulation behavior of Tl and other heavy metals and following publication of the results in the federal sort list by the federal sort office.
3. For the remaining food plants tested in this investigation the existing cultivation limitations are to be considered as being sufficient or could for the „*Non-Brassicaceae*“ even be relieved.

RESUME

Recommandations pour cultures sur sols contaminés par le Thallium:

Influence du génotype sur l'absorption de Thallium

Le Thallium (Tl) est, depuis longtemps, connu comme un métal lourd toxique. Depuis la fin des années 70, son importance en tant que polluant environnemental ne cesse d'augmenter.

Dans le sol, le Tl est fortement lié et par conséquent enrichi par une immission croissante.

La disponibilité en Tl pour la plante est influencée aussi bien par les propriétés physiques et chimiques du sol, que par la source de contamination et la forme chimique de l'émission.

Les plantes, pour une même contenance en Tl dans le sol, montrent des différences d'accumulation en Tl liées à l'espèce.

Le Tl agit, chez les animaux et les humains, comme une toxine épithéliale et neuronale, et cause des maladies de la peau, des pertes de cheveux, des maladies du foie et des reins et enfin des problèmes psychiques.

C'est pourquoi, pour éviter une contamination de la chaîne alimentaire par le Tl, la production sur des sols contaminés par le Tl est restreinte par la loi (BbodSchV;4).

En résumé, les recommandations suivantes peuvent être faites pour la culture de plantes alimentaires et fourragères sur des sols contaminés par le Tl:

1. Pour les choux blanc et vert, la valeur limite du BBodSchV est trop élevée. Pour éviter une contamination de la chaîne alimentaire par le Tl, la culture de ces espèces sur des sols à teneur supérieure à 20µg Tl/kg de sol, extrait au nitrate d'ammonium, devrait être évitée.
2. Sinon, il est possible que d'autres espèces, après investigations des différences d'accumulation de Tl dues à l'espèce, soient autorisées pour la culture sur des sols peu contaminés. Ceci peut être fait avec l'évaluation par le «bureau fédéral des espèces» du comportement d'accumulation pour le Tl et autres métaux lourds, spécifique à chaque espèce et ensuite avec la publication dans la « liste fédérale des espèces ».
3. Pour les espèces de plantes alimentaires restantes testées dans cette investigation, les limitations de culture existantes sont considérées comme suffisantes et peuvent même être , pour les plantes «non-brassicacées», diminuées.

LITERATUR

- Anke, M. (1989): Tl. In: *Lebensmitteltoxikologie*. Machholz, R. und H.-J. Lewerenz (Hrsg.). Springer Verlag, Berlin, 309-311.
- Anonym (1993): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (3. VwV Anorganische Schadstoffe). *GABl.*, Nr. 30 vom 29. Sept. 1993, 1029-1036.
- Anonym (1997): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. (Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes). *Bundesgesundheitsbl.*, 40 (5), 182-183.
- Anonym (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. *Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 36*, 1554-1582.
- Anonym (2000): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln werden vom BgVV zurückgezogen. *Bundesgesundheitsbl.*, 43 (12), 1020-1020.
- Baker, A. J. M. (1981): Accumulators and Excluders – Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *J. Plant. Nutr.*, 3 (1-4), 643-654.
- Brodowski, M. und M. Baumecker (1994): Cadmiumgehalte verschiedener Winterroggensorten. *VDLUFA-Schriftenreihe 38, Kongreßband 1994*, 661-664.
- Brüne, H., R. Ellinghaus und J. Heyn (1982): Schwermetallgehalte hessischer Böden und ergänzende Untersuchungen zur Schwermetallaufnahme durch Pflanzen. *Kali-Briefe*, 16 (5), 271-291.
- Crößmann, G. (1984): Tl - eine neue Umweltkontaminante? *Angew. Bot.*, 58, 3-10.
- Crößmann, G. (1994): Transfer und Akkumulation von Tl bei Gemüse- und Obstarten. 106. *VDLUFA-Kongreß, Kongreßband 1994*, 513-516.
- Florijn, P. J., J. A. Nelemans und M. L. van Beusichem (1991): Cadmium uptake by lettuce varieties. *Neth. J. Agric. Sci.*, 39, 103-114.
- Florijn, P. J. und M. L. van Beusichem (1993)a: Uptake and distribution of cadmium in maize inbred lines. *Plant Soil*, 150, 25-32.
- Florijn, P. J. und M. L. van Beusichem (1993)b: Cadmium distribution in maize inbred lines: Effects of pH and level of Cd supply. *Plant Soil*, 153, 79-84.
- Florijn, P. J., J.A. De Knecht und M. L. van Beusichem (1993): Phytochelatin Concentration and Binding State of Cd in Roots of Maize Genotypes Differing in Shoot/Root Cd Partitioning. *J. Plant Physiol.*, 142, 537-542.
- Günther, K. und F. Umland (1988): Speziesanalytik von Cadmium und Tl in nativen Rapspflanzen. *Fresenius Z. Anal. Chem.*, 331, 62-70.
- Hoffmann, G. G., P. Schweiger und W. Scholl (1982): Aufnahme von Tl durch landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzpflanzen. *Landwirtsch. Forsch.*, 35, 45-54.

- Kick, H., H. Bürger und K. Sommer (1981): Vegetationsversuche zur Aufnahme von Beryllium und Tl durch Sommergerste und Raps. *Landwirtsch. Forsch.*, 34, 186-190.
- Kloke, A. (1994): Sortenabhängigkeit der pflanzlichen Schwermetallaufnahme. *Ökophysiologie des Wurzelraumes*, 5, 74-76
- Kurz, H., R. Schulz und V. Römheld (1997 a): Dekontamination von mit Thallium belasteten Flächen durch Pflanzen. *VDLUFA-Schriftenreihe*, 46, 509-512.
- Kurz, H., R. Schulz und V. Römheld (1997 b): Phytoremediation of Thallium and Cadmium from contaminated soils - possibilities and limitations. Tokyo, Japan: Council for Promotion of Utilization of Organic Materials (C.P.O.U.M.). Sept. 1997: 120-132.
- Kurz, H., R. Schulz und V. Römheld (1999): Selection of Cultivars to Reduce the Concentration of Cadmium and Thallium in Food and Fodder Plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 162, 1-6.
- LaCoste, C., B. Robinson und R. Brooks (2001): Uptake of Thallium by Vegetables: Its Significance for Human Health, Phytoremediation, and Phytomining. *J. Plant Nutr.*, 24(8), 1205-1215.
- Lehn, H. (1988): Aufnahme und Verteilung von Tl, Cadmium, Blei und Zink in ausgewählten Nutzpflanzen. Frankfurt-Main, Verlag Maraun.
- Macholz, R., H.-J. Lewerenz und H. Benz (1990): *Lebensmitteltoxikologie*. Springer-Verlag, Berlin. 270-300.
- Makridis, H. (1987): Wirkung des Tl in Zementstäuben auf Wachstum und Tl-Aufnahme mehrerer Kulturpflanzen zur Ermittlung von Tl-Grenzwerten in Pflanzen und Böden. Dissertation, Technische Universität München.
- Marschner, H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants*. Second Edition. Academic Press, London, San Diego.
- Marschner, H. und V. Römheld (1996): Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: *Plant roots*. Y. Waisel, A. Eshel und U. Kafkafi (Hrsg.). Marcel Dekker Verlag, New York, Basel, Hongkong. Mulkey J. P. und F. W. Oehme (1993): A review of thallium toxicity. *Vet. Human. Toxicol.*, 35, 445-453.
- Natush, D .F. S., J. R. Wallace und C. A. Evans, Jr. (1974): Toxic trace elements: Preferential concentration in respirable particles. *Science* 183, 202-204.
- Pielow, E. (1979): Umweltschäden durch Tl in der Umgebung eines Zementwerkes. *Umwelt* 5, 394-396.
- Prinz, B., G. H. Krause und H. Stratmann (1979): Tl-schäden in der Umgebung der Dyckerhoff Zementwerk AG in Lengerich, Westfalen. *Staub-Reinhalt. Luft*, 39, 457-462.
- Prüess, A. (1992): *Vorsorgewerte und Prüfwerte für mobile und mobilisierbare, potentiell ökotoxische Spurenelemente in Böden*. Verlag U. E. Grauer, Wendlingen.

- Rosopulo, A. und Th. Diez (1981): Die Anreicherung von Schwermetallen verschiedener auf kontaminierten Böden angebauter Pflanzen. Landwirtsch. Forsch., Sonderheft 38, Kongreßband Trier, 751-767.
- Scholl, G. und F. Metzger (1981): Erhebungen über die Tlbelastung von Nutzpflanzen auf kontaminierten Böden im Raum Lengerich. Landwirtsch. Forsch., Sonderheft 38, Kongreßband Trier, 216-223.
- VDLUFA, 1996: Umweltanalytik, Methodenbuch Bd. VII, 1. Auflage, 2.2.3, VDLUFA-Verlag Darmstadt
- Zartner-Nyilas, G., H. Valentin, K.-H. Schaller und R. Schiele (1983): Tl – Ökologische und industrielle Bedeutung. Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg, Band 3. Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.).

Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1

Abb. 1: TI-Gehalte im Sproß von 28 Sommerrapsgenotypen (Gefäßversuch mit TI-belastetem Boden 1997).

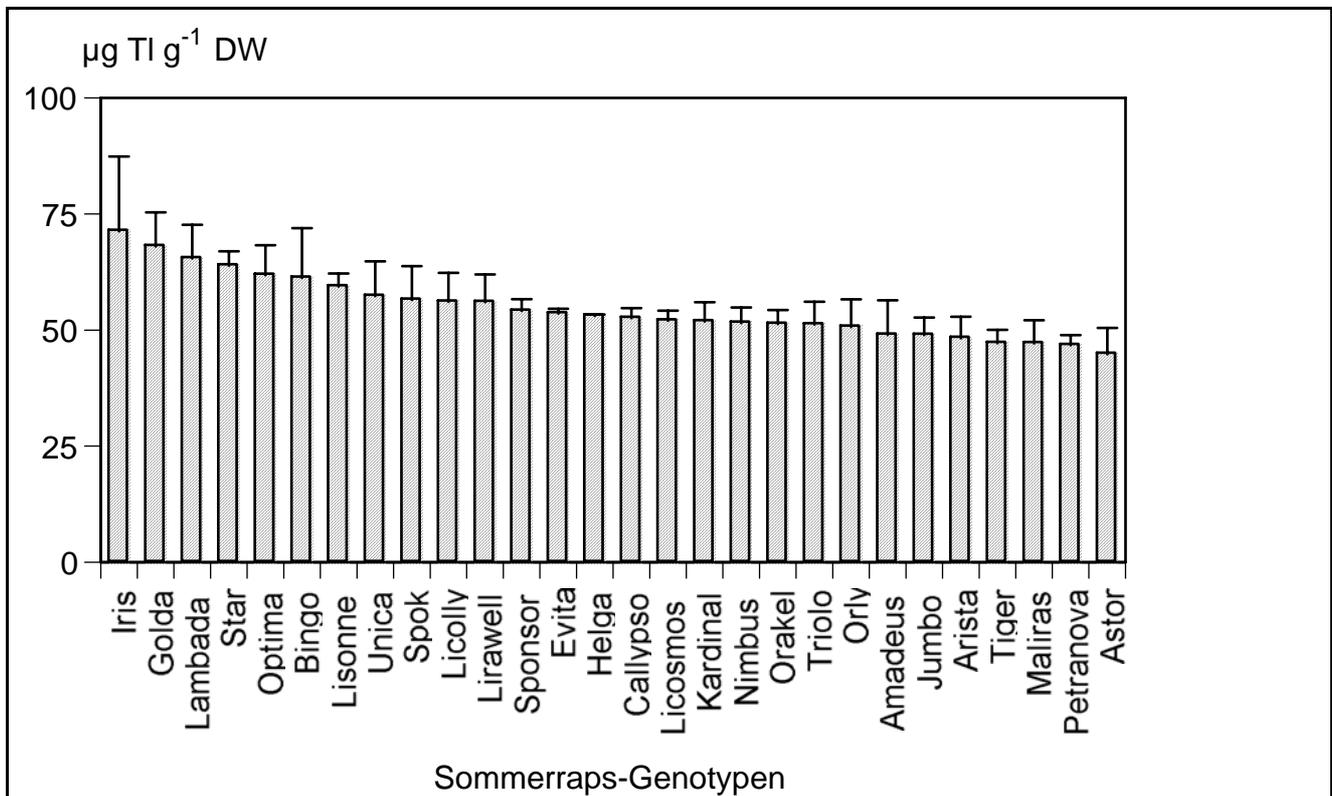


Abbildung 2

Abb. 2: TI-Gehalte im Sproß von 8 Sommerrapsgenotypen (Feldversuch auf dem TI-belastetem Boden 1997).

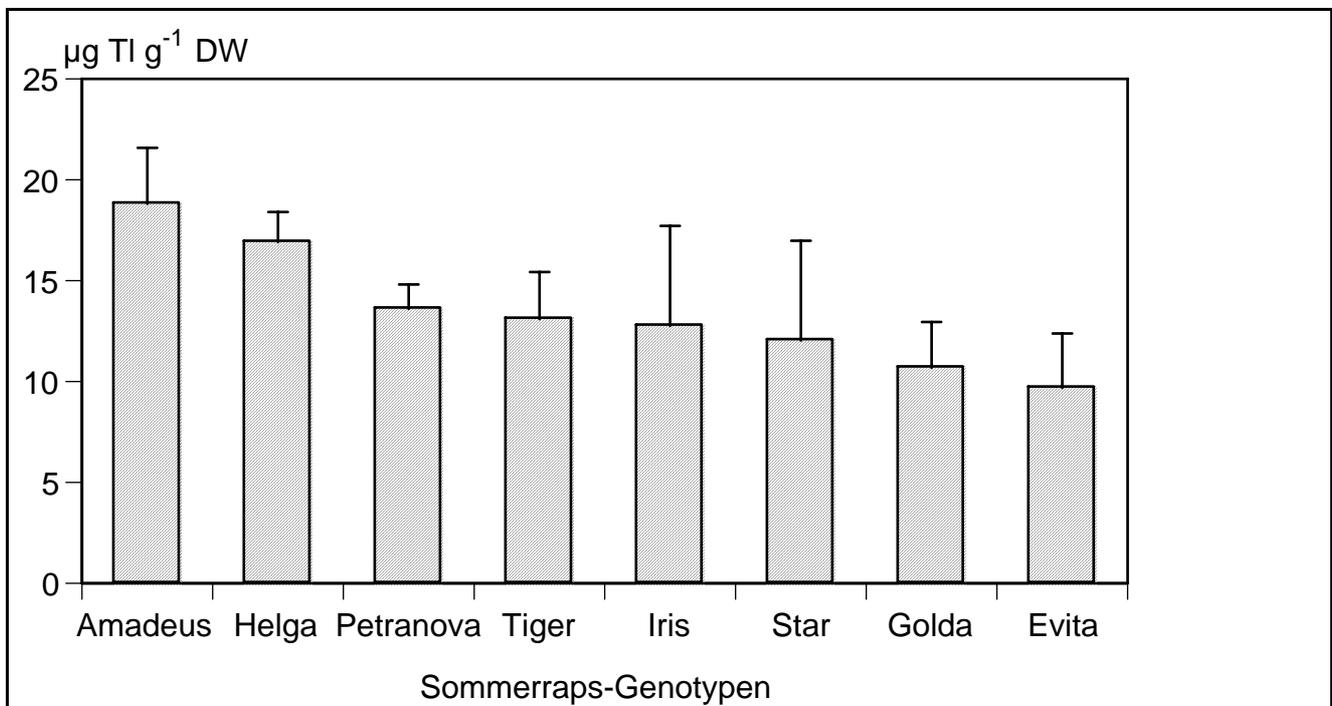


Abbildung 3

Abb. 3: TI-Gehalte im Sproß von 15 Grünkohlgenotypen (Gefäßversuch mit TI-belastetem Boden 1997).

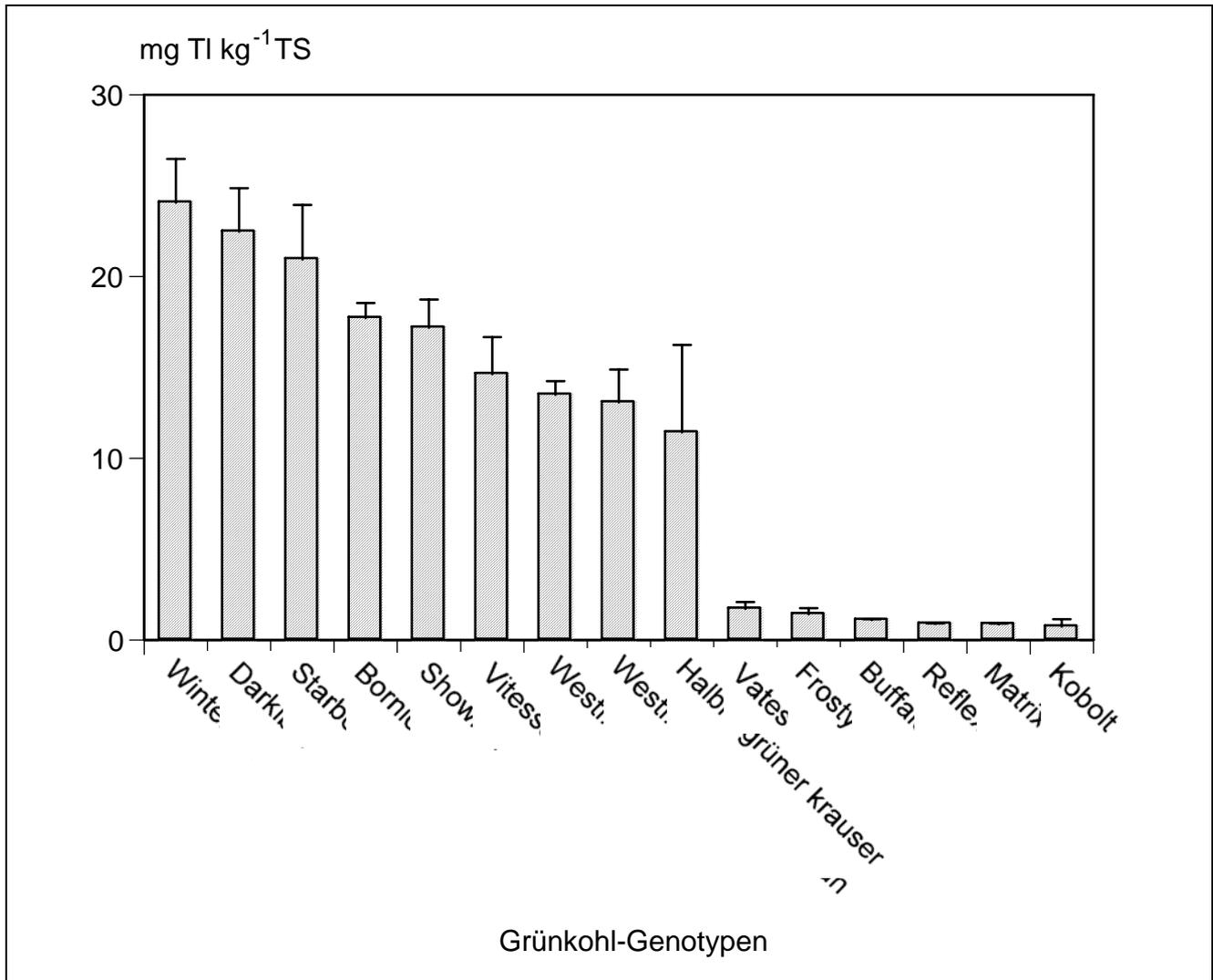


Abbildung 4

Abb. 4: Tl-Gehalte im Sproß von 8 Grünkohlgenotypen (Feldversuch auf dem Tl-belastetem Boden 1997).

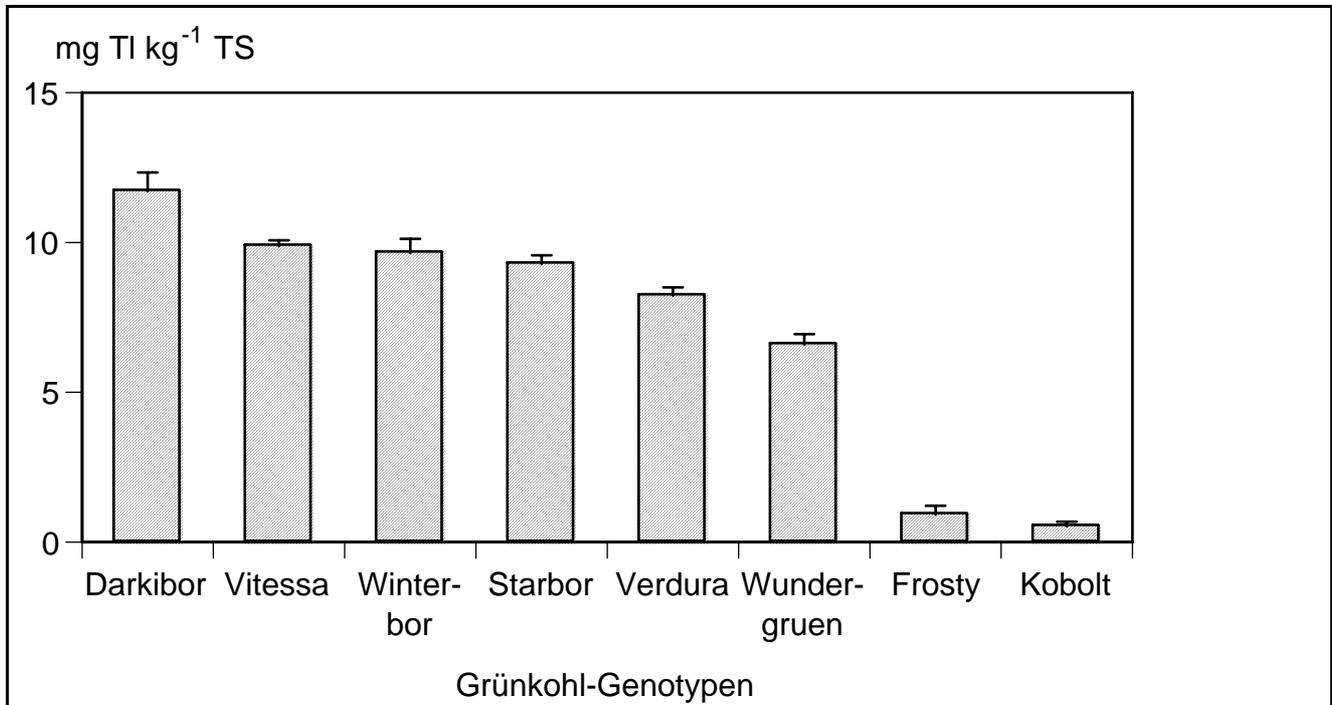


TABELLE 1

Tab. 1: Gegenüberstellung der Anbauempfehlungen und –verbote des Bodenschutzgesetzes von Baden-Württemberg (Anonym, 1993) und den Versuchsergebnissen von Crößmann (1994).

Pflanzenart	Bodenschutz- gesetz BW		Crößmann 1994 *		
	Anbau -verbot	Anbau erlaubt	hoch (TI > 0,2 mg kg ⁻¹ FS*)	mittel (TI 0,1-0,2 mg kg ⁻¹ FS)	gering (TI < 0,1 mg kg ⁻¹ FS)
Spinat	x			x	
Salat	x				x
Möhre		x			x
Rote Beete	x			x	
Radies		x		x	
Sellerie	x			x	
Rettich		x		x	
Schwarzwurzel		x		x	
Kohlrabi	x				x
Rosenkohl	x				x
Chinakohl	x				x
Blumenkohl	x				x
Weiß-, Rotkohl	x				x
Wirsing	x			x	
Brokkoli	x		x		
Grünkohl	x		x		
Zwiebel		x			x
Porree	x				x
Bohnen		x			x
Erbsen		x			x
Tomate		x			x
Gurke		x			x
Petersilie	x				x
Kartoffel		x			x

*: Einteilung von Pflanzenarten anhand von Feldversuchen auf Böden mit NH₄NO₃-extrahierbarem TI bis 440 µg kg⁻¹ Boden (10).

TABELLE 2

Tab. 2: Verwendete Sorten der angebauten Pflanzenarten.

Pflanzenart		Sorte
Ackerbohnen	<i>Vicia faba L.</i>	Herz Freya
Blumenkohl	<i>Brassica oleracea convar. botrytis</i>	Celeste
Buschbohnen	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	Lasso
Futterrüben	<i>Beta vulgaris L.</i>	Kyros
Gelbsenf	<i>Sinapis alba L.</i>	Maxi
Grünkohl	<i>Brassica oleracea convar. acephala</i>	Winterbor
Wiesenmischung	-	GS 2
Kartoffeln	<i>Solanum tuberosum</i>	Selma
Knollensellerie	<i>Apium graveolens L.</i>	Monarch
Kohlrabi	<i>Brassica oleracea convar. acephala var. gongylodes</i>	Isar
Kopfsalat	<i>Lactuca sativa var. capitata</i>	Ovation
Mais	<i>Zea mays L.</i>	Marshall
Markerbsen	<i>Pisum sativum L.</i>	Kelvex
Möhren	<i>Daucus carota L.</i>	Nantucket F1
Petersilie	<i>Petroselinum crispum L.</i>	Bravour
Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia L.</i>	Angelia
Radies	<i>Raphanus sativus var. sativus</i>	Riesenbutter
Rettich	<i>Raphanus sativus L.</i>	Hilds Roter Neckarruhm
Rote Rüben	<i>Beta vulgaris L.</i>	Rote Kugel
Rotklee	<i>Trifolium pratense L.</i>	Heges Hohenheimer
Rotkohl	<i>Brassica oleracea convar. capitata var. capitata f. rubra</i>	Rodon F1
Sommerraps	<i>Brassica napus L.</i>	Petranova
Sommerrüben	<i>Brassica rapa ssp. campestris</i>	Nokonova
Tomaten	<i>Solanum lycopersicum</i>	Moneymaker
Weidelgras	<i>Lolium perenne L.</i>	Aubade
Weide	-	GSW 1
Weißkohl	<i>Brassica oleracea convar. capitata var. capitata f. alba</i>	Castello F1
Zucchini	<i>Cucurbita pepo convar. giromontina</i>	Diamant F1
Zuckerrüben	<i>Beta vulgaris convar. crassa var. altissima</i>	Elan
Zwiebeln	<i>Allium cepa L.</i>	Stuttgarter Riesen
Öllein	<i>Linum usitatissimum L.</i>	Atalante

TABELLE 3

Tab. 3: Gesamte (Königswasser-Extraktion) und NH_4NO_3 -extrahierbare Schwermetallgehalte der Versuchsflächen.

	Kontrollfläche		Schwermetallbelastete Fläche	
	0–30 cm	30–60 cm	0–30 cm *	30–60 cm
Gesamtgehalte in mg kg^{-1} (KW-Extraktion bzw. Salpetersäureaufschluß)				
Tl	0,23	0,20	1,83	0,41
Cadmium	< 0,2	< 0,2	2,8	0,45
Zink	61	75	190	93
Kupfer	17	19	18	18
Chrom	36	39	23	50
Blei	19	21	115	39
Nickel	26	25	15	33
Quecksilber	0,08	0,26	0,11	0,05
NH_4NO_3 -extrahierbare Schwermetallgehalte in $\mu\text{g kg}^{-1}$				
Tl	< 6,25	< 6,25	97,1	15,7
Cadmium	2,6	< 2,5	19,5	3,7
Zink	< 40,0	< 40	93,8	< 40
Kupfer	60,0	46,3	105,0	< 40,0

*: Oberboden (0 – 30 cm) mit schwermetallbelastetem Boden aus Leimen ausgetauscht.

TABELLE 4

Tab. 4: Tl-Gehalte (mg kg^{-1} TS) der 1994 -1996 auf dem Kontrollboden und dem Tl-Boden angebauten Pflanzenarten (\pm SD; *: $p < 0,05$).

		1994		1995		1996	
	Pflanzenteile	Kontrollboden	Tl-Boden	Kontrollboden	Tl-Boden	Kontrollboden	Tl-Boden
<i>Brassicaceen:</i>							
Grünkohl	Blätter	< 0,1	7,73 \pm2,81 *	< 0,1	13,71 \pm5,33 *		
	Restsproß	< 0,1	3,25 \pm0,72 *	< 0,1	1,66 \pm 0,47 *		
Weißkohl	Blätter	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4,25 \pm0,85 *		
	Restsproß	< 0,1	0,15 \pm 0,02 *	< 0,1	1,96 \pm 0,32 *		
Rotkohl	Blätter			< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Restsproß			< 0,1	0,19 \pm 0,03 *	< 0,1	0,22 \pm 0,04 *
Blumenkohl	Blume			< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Restsproß			< 0,1	0,62 \pm 0,13 *	< 0,1	0,24 \pm 0,12 *
Kohlrabi	Blätter	1,13 \pm0,19	41,40 \pm9,03 *			< 0,1	1,81 \pm0,40 *
	Knollen	< 0,1	0,23 \pm 0,01 *			0,13 \pm0,01 *	33,13 \pm5,36 *
Sommerraps	Sproß	0,27 \pm0,07	33,70 \pm0,08 *	0,15 \pm0,02	12,42 \pm3,31 *		
Sommerrübsen	Gesamtsproß			< 0,1	0,30 \pm 0,03 *	0,21 \pm0,03	0,22 \pm 0,03

		1994		1995		1996	
	Pflanzenteile	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden
Gelbsenf	Körner			< 0,1	0,21 ±0,04 *	< 0,1	0,13 ±0,01 *
	Restsproß			< 0,1	0,35 ±0,10 *	< 0,1	0,14 ±0,01 *
<i>Asteraceen:</i>							
Kopfsalat	Blätter	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1		
<i>Apiaceen:</i>							
Möhren	Möhren	< 0,1	0,24 ±0,04 *			< 0,1	0,21 ±0,03 *
	Kraut	< 0,1	0,30 ±0,04 *			0,28 ±0,02	0,48 ±0,07 *
Knollensellerie	Knollen			< 0,1	0,21 ±0,03 *	< 0,1	< 0,1
	Blätter			< 0,1	0,23 ±0,01 *	< 0,1	< 0,1
Petersilie	Gesamtsproß			< 0,1	0,14 ±0,04 *		
<i>Cucurbitaceen:</i>							
Zucchini	Früchte	< 0,1	0,11 ±0,04 *	< 0,1	< 0,1		
	Restsproß	< 0,1	0,68 ±0,15 *	< 0,1	0,23 ±0,05 *		
<i>Chenopodiaceen:</i>							
Futterrüben	Blätter			< 0,1	0,32 ±0,09 *	< 0,1	0,33 ±0,12 *
	Rüben			< 0,1	0,31 ±0,06 *	< 0,1	0,23 ±0,06 *

		1994		1995		1996	
	Pflanzenteile	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden
Zuckerrüben	Blätter			< 0,1	0,37 ±0,12 *	< 0,1	0,30 ±0,10 *
	Rüben			< 0,1	0,30 ±0,05 *	< 0,1	0,24 ±0,06 *
Rote Rüben	Rüben			< 0,1	0,32 ±0,05 *		
	Blätter			< 0,1	0,51 ±0,15 *		
<i>Fabaceen:</i>							
Buschbohnen	Hülsen	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,52 ±0,03 *		
	Restsproß	< 0,1	0,18 ±0,02 *	< 0,1	0,09 ±0,02 *		
Rotklee	Gesamtsproß	< 0,1	0,17 ±0,04 *	< 0,1	0,20 ±0,11 *	< 0,1	0,56 ±0,42 *
Ackerbohnen	Körner			< 0,1	< 0,1		
	Restsproß			< 0,1	< 0,1		
<i>Solanaceen:</i>							
Kartoffel	Knollen			< 0,1	0,23 ±0,11	< 0,1	< 0,1
	Restsproß			< 0,1	0,34 ±0,05 *	< 0,1	0,64 ±0,08 *
Tomaten	Früchte					< 0,1	< 0,1
	Restsproß					< 0,1	< 0,1
<i>Liliaceen:</i>							

		1994		1995		1996	
	Pflanzenteile	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden
Zwiebel	Knollen			< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,13 ±0,01 *
	Restsproß			< 0,1	0,34 ±0,04 *	0,14 ±0,01	32,04 ±5,26 *
<i>Resedaceen:</i>							
Radies	Knollen			< 0,1	0,81 ±0,08 *	< 0,1	0,28 ±0,04 *
	Blätter			< 0,1	0,26 ±0,16	< 0,1	0,32 ±0,04 *
Rettich	Knollen			< 0,1	0,66 ±0,15 *	< 0,1	0,39 ±0,10 *
	Blätter			< 0,1	0,23 ±0,10 *	< 0,1	0,67 ±0,09 *
<i>Linaceen:</i>							
Öllein	Körner			< 0,1	0,54 ±0,02 *	< 0,1	0,32 ±0,04 *
	Restsproß			< 0,1	0,21 ±0,03 *	< 0,1	< 0,1
<i>Hydrophyllaceen:</i>							
Phacelia	Gesamtsproß			< 0,1	0,48 ±0,04 *	< 0,1	0,35 ±0,03 *
<i>Poaceen:</i>							
Weidelgras	Gesamtsproß	< 0,1	0,13 ±0,05 *	< 0,1	0,16 ±0,07 *	< 0,1	< 0,1
Wiesenmischung	Gesamtsproß			< 0,1	0,27 ±0,06 *	< 0,1	0,15 ±0,02 *
Weidemischung	Gesamtsproß			< 0,1	0,19 ±0,07 *	< 0,1	< 0,1

		1994		1995		1996	
	Pflanzenteile	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden	Kontrollboden	T1-Boden
Mais	Körner	< 0,1	< 0,1			< 0,1	< 0,1
	Spindeln	< 0,1	< 0,1			< 0,1	< 0,1
	Restsproß	< 0,1	0,27 ±0,38			< 0,1	< 0,1

TABELLE 5

Tab. 5: TI-Transferfaktoren (mg kg^{-1} TS Pflanze \div mg kg^{-1} TS Boden) der 1995-1996 angebauten Pflanzenarten.

	1995	1996
Grünkohl	9,7	
Weißkohl	3,1	
Kohlrabi		1,3
Radies	0,6	0,2
Rettich	0,5	0,3
Ölleinkörner	0,4	0,2
Buschbohnen	0,4	
Zuckerrüben	0,3	0,2
Rote Rüben	0,2	
Kartoffeln	0,2	0,1
Gelbsenfkörner	0,2	0,1
Knollensellerie	0,2	0,1
Rotklee	0,1	0,4
Kopfsalat	0,1	
Zucchini	0,1	
Rotkohl	0,1	0,1
Blumenkohl	0,1	0,1
Zwiebeln	0,1	0,1
Petersilie	0,1	
Möhren		0,2
Maiskörner		0,1

TABELLE 6

Tab. 6: Gegenüberstellung der Anbauempfehlungen und -verbote im Rahmen des Bodenschutzgesetzes von Baden-Württemberg für TI-belastete Flächen (Anonym, 1993) und der TI-Gehalte auf Frischsubstanzbasis in den zum Verzehr geeigneten Pflanzenteilen der angebauten Pflanzenarten (1994-1996).

Pflanzenart	Bodenschutzgesetz BW		Eigene Versuchsergebnisse (1994-1996)		
	Anbauverbot	Anbauerlaubt	hoch (TI > 0,2 mg kg ⁻¹ FS*)	mittel (TI 0,1-0,2 mg kg ⁻¹ FS)	gering (TI < 0,1 mg kg ⁻¹ FS)
Spinat	x		Nicht angebaut		
Salat	x				x
Möhre		x			x
Rote Beete	x				x
Radies		x			x
Sellerie	x				x
Rettich		x			x
Schwarzwurzel		x	Nicht angebaut		
Kohlrabi	x			x	
Rosenkohl	x		Nicht angebaut		
Chinakohl	x		Nicht angebaut		
Blumenkohl	x				x
Weiß-, Rotkohl	x		x		
Wirsing	x		Nicht angebaut		
Brokkoli	x		Nicht angebaut		
Grünkohl	x		x		
Zwiebel		x			x
Porree	x		Nicht angebaut		
Bohnen		x			x
Erbsen		x	Nicht angebaut		
Tomate		x			x
Gurke		x	Nicht angebaut		
Petersilie	x				x
Kartoffel		x			x

Autoren-Adressen:

Dipl.-Ing. agr. Hannes Kurz
Universität Hohenheim
Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie (710)
70599 Stuttgart
email: kurz@lachimie.uni-hohenheim.de

Dr. Rudolf Schulz
Universität Hohenheim
Institut für Pflanzenernährung (330)
70599 Stuttgart
email: schulzru@uni-hohenheim.de

Prof. Dr. Volker Römheld
Universität Hohenheim
Institut für Pflanzenernährung (330)
70599 Stuttgart
email: roemheld@uni-hohenheim.de