

Elementzusammensetzung von Weizen und Kartoffeln in Österreich unter Berücksichtigung des Einflusses von Sorte und Standort

Element contents of wheat and potato varieties in different growing zones in Austria

H. Spiegel, M. Sager

Zusammenfassung

In repräsentativen Anbaugebieten in Österreich wurden Weizen- und Kartoffel- sowie Bodenproben entnommen. Insgesamt wurden an 18 Standorten zwischen vier und zwölf Weizensorten (n=136) und an acht Standorten je fünf Kartoffelsorten (n=40) auf ihre Gesamtelementgehalte untersucht. Die gemittelten Konzentrationen für Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mg, Mn, P, Ni und Sr lagen in vergleichbaren Bereichen, wie die Literaturdaten aus Deutschland und Polen zeigen. Die Werte für Al, Fe, Na, Pb und V waren jedoch tiefer. Die meisten Elementkonzentrationen in Kartoffeln und Weizenkorn waren standortabhängig, außer Al, B und V. Gemittelt über alle untersuchten Standorte traten Sortenunterschiede bei Ba, Ca, Cd, Fe, Cu, K, Mg, P, Sr und Zn auf. Hingegen war bei Al, B, Be, Co, Cr, Mn (Kartoffel), Mo, Na, Ni und V der Elementgehalt durch die Sortenwahl wenig bis nicht signifikant beeinflussbar.

Kennwörter:

Weizen, Kartoffel, Spurenelementgehalte, Sorten

Summary

18 representative sites for the Austrian wheat and eight for the potato growing zones (soils and crops) were investigated. On each site total element contents were determined in four to twelve varieties of wheat (n=136) and in five varieties of potatoes (n=40).

Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mg, Mn, P, Ni and Sr were found in similar concentrations compared with data from Germany and Poland, however, contents of Al, Fe, Na, Pb and V were lower. Element accumulations in potato tubers and wheat grain varied significantly with site conditions, except Al, B and V. In the average of all investigated sites differences in varieties occurred concerning the elements Ba, Ca, Cd, Fe, Cu, K, Mg, P, Sr and Zn. On the other hand the contents of Al, B, Be, Co, Cr, Mn (potato), Mo, Na, Ni and V could not or scarcely be influenced by the choice of variety.

Keywords:

wheat, potatoes, trace element contents, varieties

1 Einleitung

Für die Gesundheit von Mensch und Tier ist es von großer Bedeutung, dass notwendige Nährelemente in ausreichender Menge mit der Nahrung zugeführt werden und die Aufnahme von bedenklichen Elementen minimiert wird. Besonderes Augenmerk muss auf die Elemente gelegt werden, die zwar in der Pflanze akkumulieren können, nicht phytotoxisch sind (z. B. Mo, Pb, Cd, Hg), aber sehr wohl eine Gefahr für Tier und Mensch sein könnten. Andere Elemente (z. B. Ni, Cu, Zn, Co) wirken auch in höheren Konzentrationen für die Pflanze toxisch. Da die mit solchen Elementen belasteten Pflanzen ohnehin schlecht gedeihen, sind negative Auswirkungen auf Tier oder Mensch über den Konsum von Futter- bzw. Nahrungspflanzen weitgehend auszuschließen [1]. In welcher Menge die

Erntepflanze diese Elemente aufnimmt, hängt neben den Elementgehalten im Boden von einer Reihe von mobilitätsbeeinflussenden Bodenparametern (z. B. pH, organische Substanz, Textur etc.) sowie von Synergismen und Antagonismen zwischen den Elementen und möglicherweise von der Sorte ab.

Wegen der großen Bedeutung von Weizen und Kartoffeln als Grundnahrungsmittel [2, 3] war es Ziel dieser Arbeit, folgende Fragen näher zu untersuchen:

- Wie weit variieren die Gehalte von Nähr- und Schad-elementen im Weizenkorn und in der Kartoffel auf repräsentativen, gut dokumentierten Standorten in Österreich in Abhängigkeit von der Sorte?
- Kann der Landwirt durch geeignete Sortenwahl Produkte mit einem höheren Gehalt an essenziellen Elementen (z. B. Kupfer, Zink, Magnesium)

erzeugen bzw. die Aufnahme von Schadelementen verhindern?

- Welche Elementgehalte sind so stark durch den Stoffwechsel der Pflanze beeinflusst, dass sie von der Sorte abhängen?
- Welche Elementgehalte sind im Gegensatz dazu stark standortabhängig und dazu kaum sortenbeeinflusst?

2 Material und Methode

2.1 Standorte

Im Jahr 2004 wurden Weizen-, Kartoffel- und zugehörige Bodenproben an repräsentativen Standorten in den Hauptanbaugebieten Österreichs, die als Versuchsflächen zur Sortenwertprüfung schon jahrelang genutzt wurden, entnommen. Insgesamt wurden an 18 Standorten zwischen vier und zwölf Weizensorten (n=136) und an acht Standorten je fünf Kartoffelsorten (n=40) untersucht. Die pH-Werte der Standorte variieren zwischen 4,5 und 7,6, die Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) zwischen 9,3 und 27,0 g kg⁻¹, die Bo-

denart zwischen lehmigem Sand und Lehm und die elektrische Leitfähigkeit zwischen 54 und 194 µS cm⁻¹. Standorte und Sorten sind in den Tab. 1 und 2 aufgelistet.

2.2 Probenvorbereitung, Analyse und Auswertungen

Kartoffeln wurden mit einem Keramikmesser geschält, auf einer Kunststoffreibe geraspelt und bis zur Analyse tiefgefroren. Weizen wurde als Ganzkorn auf einer Ultrazentrifugalmühle mit Titanmahleinsatz vermahlen und das Vollkornmehl eingewogen. Vor der Analyse wurde jeweils der Wassergehalt bestimmt und danach die Ergebnisse auf Trockensubstanz (TS) umgerechnet. In den Tabellen wurden Medianwerte (sowie Minimum- und Maximumwerte) angegeben.

Etwa 0,2 g Probe wurden in eine Druckbombe eingewogen, mit 1 mL H₂O befeuchtet, mit 3,5 mL HNO₃ und 1,0 mL H₂O₂ mit mikrowellenunterstützter Beheizung aufgeschlossen und der Inhalt auf 10 g auf einer Waage aufgefüllt, was etwa 8,5 mL entspricht. Bei je-

| Weizenstandorte | Weizensorten | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|--------|----------|---------|----------|-------------|-------|----------|----------|-------|----------|-------|
| | Capo | Ludwig | Fridolin | Astardo | Antonius | Erla Kolben | Dekan | Belmondo | Augustus | Xenos | Saturnus | Josef |
| Freistadt | X | X | | X | X | X | X | X | X | | | |
| Ritzlhof | X | X | | X | X | X | X | X | X | | | |
| Edelhof | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| Schönfeld | X | X | | X | X | X | X | X | X | | | |
| Hörzendorf | X | X | | X | X | X | X | X | X | | | |
| Grabeneegg | X | X | | X | X | X | X | X | X | | | |
| Fuchsenbigl | X | X | X | X | X | X | | | | X | X | X |
| Großnondorf | X | X | X | X | X | X | | | | X | X | X |
| Pottendorf | X | X | X | X | X | X | | | | X | X | X |
| Mistelbach | X | X | X | X | X | X | | X | | X | X | X |
| Staasdorf | X | X | X | X | X | X | | | | X | X | X |
| Albrechtsfeld | X | X | X | X | X | X | | | | X | X | X |
| Obersiebenbrunn | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Gaspoltshofen | X | X | | | | X | | | | | X | |
| Fraham | X | X | | | | X | | | | | X | |
| Loosdorf | X | X | | | | X | | | | | X | |
| Sitzendorf/Schmida | X | X | | | | X | | | | | X | |
| Obersiebenbrunn | X | X | | | | X | | | | | X | |

Tab. 1: Weizenstandorte und -sorten.

| Kartoffelstandorte | Kartoffelsorten | | | | |
|--------------------|-----------------|--------|-------|--------|-------|
| | Ditta | Nicola | Ivana | Hermes | Tosca |
| Freistadt | X | X | X | X | X |
| Edelhof | X | X | X | X | X |
| Schönfeld | X | X | X | X | X |
| Grabeneegg | X | X | X | X | X |
| Hörzendorf | X | X | X | X | X |
| Fuchsenbigl | X | X | X | X | X |
| Großnondorf | X | X | X | X | X |
| Braunsdorf | X | X | X | X | X |

Tab. 2: Kartoffelstandorte und -sorten.

der Charge wurden eine Kontrollprobe (NIST 1573a Tomato Leaves) und zwei Blindwerte mitgeführt. Die Kontrollprobe hat sich wegen einer hohen Anzahl zertifizierter Elemente in einem optimalen Messbereich bewährt.

Die Proben wurden am ICP-MS in 1+9-Verdünnung unter Zusatz von internem Standard Indium gemessen. Es wurden die Massen 111-Cd, 208-Pb und 202-Hg zur Bestimmung herangezogen. Die verbleibende Lösung wurde pur und 1+4 verdünnt am ICP-OES mit dem Multi-Elementprogramm für phosphatreiche Matrizes gemessen. Dabei wurden die Elemente Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sr, V, Zn abgelesen.

Die statistischen Berechnungen zum Einfluss Sorte/Standort wurden mittels multipler Varianzanalyse mit Hilfe des Statistikpakets SPSS 15.0 durchgeführt. Die statistische Absicherung erfolgte mittels Tukey-Test auf dem Signifikanzniveau von $P \leq 0,05$. Der Zusammenhang zwischen Elementgehalten in der Erntepflanze und Bodenparametern wurde mittels bivariater Korrelationsstatistik geprüft.

3 Ergebnisse und Vergleichswerte

Im Hinblick auf den Einsatz von Weizen und Kartoffeln als Lebensmittel ist der Bedarf an Elementen sowie allfällige zulässige Höchstwerte zu berücksichtigen. Um die in dieser Arbeit gewonnenen Daten beurteilen zu können, werden sie mit weiteren österreichischen Daten sowie Daten aus anderen europäischen Ländern, die etwa der gleichen Klimazone angehören, verglichen. Vielfach sind in den folgenden Tabellen nur Jahresmittelwerte, nicht aber sortenspezifische oder bodenspezifische Daten angegeben.

Eine Reihe von Weizen-Daten wurde bereits aus Feldversuchen in Niederösterreich zur Selenaufnahme von Getreide und Mais in den Jahren 1997 und 1998 gewonnen. Je nach Bodentyp wurden unterschiedliche Elementzusammensetzungen gefunden, in den Tabellen besagter Arbeit sind die Bereiche der Mittelwerte angegeben [10]. Im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes wurden ausgewählte Schwermetallgehalte unter anderem von Weizen und Kartoffeln aus einem P-Düngungsversuch bestimmt [11].

Aus dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland von 1989 liegen Mittelwerte über 350 Weizenproben und sämtliche übliche Sorten sowie auch von geschälten luftgetrockneten Kartoffelproben vor, ebenso von Mehl, Weißbrot und Roggenbrot [12]. Während Cadmium in Bayern und Baden-Württemberg tiefer als in Norddeutschland lag, war es bei Nickel umgekehrt. Blei und Zink zeigten innerhalb Deutschlands keine regionalen Unterschiede [9].

Das Standardwerk *Souci-Fachmann-Kraut* gibt Elementgehalte aufgrund internationaler Datenerfassung an, ohne Berücksichtigung von standort- und pflanzenspezifischen Faktoren [9] und ist deshalb für detaillierte Vergleiche nicht geeignet. Mangels anderer Daten wurden auch Vergleiche von Weizenkörnern mit Weizenmehl durchgeführt.

Für die Richtigkeit der Analytik ab Einwaage stehen international zertifizierte Standardreferenzmaterialien zur Verfügung. In den Einzelelementtabellen sind zum Vergleich mit den in der aktuellen Arbeit ermittelten Werten die Daten für „BCR CRM 189 wholemeal flour“ angegeben, die zumeist etwas höher als die Daten aus unbelasteten Gebieten liegen [6].

In der Kartoffel sind Mineralstoffe und Spurenelemente im Knollenquerschnitt nicht gleichmäßig verteilt. Viele Elemente sind unter der Schale deutlich höher konzentriert als im Inneren der Knollen. In jungen Knollen (30 Tage nach Aufgang) werden zunächst die anorganischen Stoffe in relativ hohen Konzentrationen vorgefunden und fallen dann infolge intensiver Stärkeeinlagerung in unterschiedlichem Ausmaß ab, besonders Na und Ca. Bei Überversorgung mit Stickstoff kommt es zu einem Abfall der Gehalte an P, K, Mg und Mn, während Ca stetig zunimmt. K-Düngung bewirkt auch Anstiege von Mn und Mg in den Knollen [14]. Im ausreichend mit K versorgten niederösterreichischen Weinviertel wurde der Elementgehalt von P, Ca, Mg, Mn, Cu und Zn in Kartoffelknollen durch Stickstoffdüngung beeinflusst, nicht aber durch eine reine K-Düngung [15]. Aus Polen liegt für Cd und Zn in Kartoffeln eine Studie vor, die 6306 Proben aus dem ganzen Land erfasst [16].

In Polen wurde auch die Metallaufnahme von neun verschiedenen Kartoffelsorten aus Wrocław in der Nähe eines vormaligen Hüttenwerks sowie aus der Gemeinde Rudna im Kreis Wrocław in schwach tonhaltigen Böden untersucht und Mittelwerte aus zwei Jahren in der Trockenmasse angegeben. Unterschiedliche Sorten können bis zur doppelten Konzentration an Cd, Mo, Hg, As, Pb und Cu enthalten, wobei sich die beiden Böden unterschiedlich verhielten [17].

Während die österreichischen Kartoffeln geschält wurden, wie dies in der EU-Verordnung (EG) 466/2001 gefordert wird und den örtlichen Verzehrsgewohnheiten entspricht, sind in der deutschen Studie vermutlich ungeschälte Knollen eingesetzt worden, was zu erheblichen Unterschieden führen kann. Auch in der polnischen Arbeit finden sich keine Angaben, ob die Kartoffeln geschält wurden.

Der Bezug der Daten auf Frischgewicht oder Trockensubstanz spielt besonders bei Kartoffeln eine große Rolle, deren Wassergehalt in der vorliegenden Untersuchung im Mittel bei 79 % liegt, hingegen beträgt der

durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt der Weizenkörner nur 7,9 %, *Cubadda* et al. [6] berichten von 12 %.

3.1 Einzelne Elemente

Aluminium

Der Tagesbedarf an Aluminium liegt unter 2 mg kg⁻¹ und wird mit 10 mg kg⁻¹ in der Nahrung gedeckt, was dem Allgegenwartsniveau entspricht [18]. Hauptquellen in der Nahrung sind Zusatzstoffe wie Backpulver, Kaffeeweißler bzw. Aluminiumsilikate als Zusatz zu Käse [19].

Vegetarier nehmen 30 % mehr Aluminium auf als Vergleichspersonen mit Mischkost [18].

Für die Pflanze ist Al ein Wurzelgift, toxische Aluminiumionen werden v. a. bei pH-Werten unter 5 in die Bodenlösung freigesetzt. Bei einem niedrigen Ca-Angebot kann es allerdings dessen Funktion teilweise ersetzen und förderlich auf das Pflanzenwachstum wirken.

Die Aluminiumgehalte (Medianwerte der aktuellen Studie: siehe *Tab. 3*) in den untersuchten Erntepflanzen zeigen keine Sortenunterschiede und auch nur wenig Standortunterschiede: Lediglich bei Kartoffeln auf Standorten im Waldviertel und im nördlichen Weinviertel (Zwettl und Großnondorf) und bei Weizen im oberösterreichischen Alpenvorland (Ritzlhof) waren die Al-Gehalte signifikant höher als auf den übrigen untersuchten Standorten.

Die höheren Werte in den deutschen Kartoffeln (siehe *Tab. 3*) rühren vermutlich daher, dass diese ungeschält analysiert wurden.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 1,36 (<0,3–31,9) | 0,48 (<0,3–1,85) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 27,5 (7,8–210) | [14] |
| Deutschland | 4,1 (Mehl) | 30 | [7] |

Tab. 3: Aluminium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Barium

Barium ist v. a. in Blättern, Gräsern und Leguminosen angereichert, es konnte in Flora und Fauna noch keine Essenzialität nachgewiesen werden. Die Pflanzenzelle kann zwischen Calcium, Strontium und Barium nicht unterscheiden. Im Durchschnitt speichern grüne Leguminosen 0,07 %, Früchte 0,14 % und Getreide bzw. Kartoffelknollen 0,56 % im Verhältnis zum aufgenommenen Calcium [20].

In der aktuellen Untersuchung werden die Ba-Gehalte in der Kartoffel und im Weizenkorn wesentlich vom pH-Wert des Standortes beeinflusst. Daher sind am Standort Zwettl die Ba-Gehalte in der Kartoffel mit Ø 1,72 mg kg⁻¹ signifikant höher als auf den anderen Standorten (Ø 0,46 mg kg⁻¹). Die bei weitem höch-

ten Ba-Gehalte im Weizenkorn konnten mit 7,07 mg kg⁻¹ ebenfalls am Standort Zwettl festgestellt werden. Dies bestätigt die Untersuchungen von [20], wonach es durch die Zusammensetzung des Bodens bedingt zu starken Schwankungen des Ba-Gehalts in den Pflanzen kommt. Überdurchschnittlich hohe Bariumwerte wurden in Pflanzen gefunden, die auf sauren pleistozänen Sanden, eiszeitlichen Tonen und Böden aus der Granitverwitterung wuchsen.

In der vorliegenden Untersuchung wiesen die Ba-Gehalte in Weizenkorn und Kartoffel auch signifikante Sortenunterschiede auf. Dabei zeigten die Weizensorte Xenos (Ø 1,14 mg kg⁻¹ TS) die niedrigsten und die Weizensorte Belmondo (Ø 4,47 mg kg⁻¹ TS) die höchsten Gehalte sowie die Kartoffelsorten Hermes und Ditta (Ø 0,46 mg kg⁻¹ TS) die niedrigsten und Ivana (Ø 0,91 mg kg⁻¹ TS) die höchsten Gehalte.

In Europa nehmen Vegetarier täglich etwa doppelt so viel Barium auf (15 µg kg⁻¹ Körpergewicht) als Vergleichspersonen mit Mischkost (7 µg kg⁻¹ Körpergewicht) [20].

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 2,52 (0,82–8,89) | 0,48 (0,10–2,82) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | 0,9 (Mehl) | 1,5 | [20] |

Tab. 4: Barium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Beryllium

Beryllium ist sowohl für Mensch und Tier toxisch als auch stark phytotoxisch, wobei dies v. a. in sauren Böden eine Rolle spielt. Allerdings sind in kleinen Mengen auch nützliche Effekte auf manche Pflanzen bekannt [21]. Die ermittelten Be-Gehalte (siehe *Tab. 5*) in Weizen und in der Kartoffel sind als unproblematisch zu betrachten. Die Standortunterschiede variieren stärker als die Sortenunterschiede, sie sind in der Kartoffel nicht vorhanden, beim Weizen unterscheiden sich nur zwei Sorten (Capo > Fridolin) signifikant voneinander.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| Österreich | 0,004 (<0,001–0,015) | 0,004 (<0,001–0,009) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 0,002–0,0031 | [22] |

Tab. 5: Beryllium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Bor

Bor ist für Blütenpflanzen und einige Tiere ein essentielles Spurenelement, ob dies auch für den Menschen gilt, konnte bisher nicht genau nachgewiesen werden. Bor kommt v. a. in pflanzlichen Lebensmitteln (in Blattgemüse etwa 10 mg kg⁻¹) sowie in Früchten und Nüssen vor [23], aber auch in der Milch und in Milchpro-

dukten (Rohmilch im Median 1,0 mg kg⁻¹; [24]), nicht aber in Getreide, Reis, Fleisch und Eiern (<0,4 mg kg⁻¹; [24]). Nach dem Mahlen von Getreide war Bor nur in der Kleie deutlich nachweisbar (im Mittel 2,45 mg kg⁻¹; [25]). Vergleichsweise hohe Borgehalte findet man in Honig (Waldhonig 2,4–5,9 mg kg⁻¹, Blütenhonig 3,7–18,4 mg kg⁻¹; [26]). Die Borgehalte sowohl in der Kartoffel als auch im Weizen (Mediane aus Tab. 6 ersichtlich) variieren weder in Abhängigkeit vom Standort noch von der Sorte.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|------------|------------------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 0,46 (<0,4–4,14) | 3,07 (0,74–8,05) | Aktuelle Arbeit |
| Österreich | Mehl <0,4 Kleie 2,45±0,75 | | [25] |

Tab. 6: Bor (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Cadmium

Erst kürzlich konnte die Essenzialität von Cadmium durch die Fütterung von cadmiumarmer Diät (<0,015 mg kg⁻¹) an Ziegen bewiesen werden. Andererseits kann ein Überschuss – bereits bei sehr geringen Konzentrationen möglich – toxische Wirkungen hervorrufen. Vegetarier nehmen 50–90 % mehr Cadmium auf als Vergleichspersonen aus Mischkost [27].

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| Österreich | 0,031 (0,010–0,105) | 0,077 (0,022–0,150) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 0,051 | 0,088 | [12] |
| Deutschland 1989–93 | 0,055 | 0,107 | [9] |
| Wrocław 1995–96 | – | 0,069 | [17] |
| Rudna (bei Wrocław) 1995–96 | – | 0,238 | [17] |
| Deutschland | | 0,10 (0,033–0,34) | [14] |
| Österreich 1995 | 0,015±0,003 | – | [8] |
| Österreich 1994 | 0,011–0,068 | | [29] |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | 0,059 (0,015–0,194) | 0,114 (0,024–0,344) | [11] |
| Deutschland | | 0,124 | [7] |
| Deutschland, unkontaminiert | 0,051 | 0,038 | [7] |
| Schweden | 0,044 (0,007–0,229) | 0,041 (0,004–0,142) | [30] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | 0,071±0,003 | – | [6] |

Tab. 7: Cadmium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

In der vorliegenden Untersuchung befinden sich die Cd-Gehalte in beiden Nahrungspflanzen weit unter den Grenzwerten der Verordnung (EG) 466/2001. Diese liegen für Weizen bei 0,2 mg kg⁻¹ FS bzw. 0,233 mg kg⁻¹ TS, für Kartoffel bei 0,1 mg kg⁻¹ FS bzw. 0,5 mg kg⁻¹ TS, unter der Annahme eines mittleren TS-Gehaltes von 86 % bzw. 20 %. Sowohl bei Weizen als auch bei Kartoffeln können signifikante Sortenunterschiede im

Cd-Gehalt festgestellt werden. Bei Weizen sind die mittleren Cd-Gehalte in der Sorte Xenos (Ø 0,02 mg kg⁻¹ TS) am niedrigsten und in der Sorte Augustus (Ø 0,05 mg kg⁻¹ TS) am höchsten. Bei der Kartoffel weisen die Sorten Ditta und Nicola die niedrigsten (Ø 0,05 mg kg⁻¹ TS) und Tosca sowie Ivana (Ø 0,11 mg kg⁻¹ TS) signifikant höhere Gehalte auf, die Sorte Hermes nimmt eine Mittelstellung ein. Damit kann die Cd-Aufnahme durch Sortenwahl beeinflusst werden. Aber auch die Standortverhältnisse – v. a. der pH-Wert – spielen eine bedeutende Rolle bei der Cd-Aufnahme von Nahrungspflanzen [28].

Der Cd-Gehalt in deutschem Weizen (und Roggen) war von 1975 bis 1993 gleich bleibend [9], siehe Tab. 7.

Calcium

Calcium ist unentbehrlich für die Blutgerinnung, die Skelettverknöcherung und die elektromechanische Kopplung erregbarer kontraktiver Zellen. Zwischen Calcium und Magnesium besteht bei Skelettmuskeln und Axonmembranen ein Synergismus [31].

Verglichen mit Untersuchungen in Deutschland sind die in österreichischem Weizen und österreichischen Kartoffeln gefundenen Ca-Gehalte eher niedrig (siehe Tab. 8). Sie weisen allerdings ausgeprägte Standortunterschiede und bei Weizen, weniger bei Kartoffeln, auch signifikante Sortenunterschiede auf. Der Ca-Gehalt in der Kartoffel korreliert hochsignifikant positiv mit dem Kalkgehalt, dem Gehalt an austauschbarem Ca und dem pH-Wert des Bodens.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Österreich | 280 (197–419) | 149 (52–533) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 354 | 316 | [12] |
| Deutschland | – | 404 | [14] |
| Deutschland 1989–93 | 370 | 290 | [9] |
| Deutschland | | 288 | [7] |
| Österreich 1998–2000 | 254–444 | – | [10] |

Tab. 8: Calcium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Cobalt

Cobalt ist u. a. essenziell für die frei lebenden und für die symbiontischen, N-fixierenden Bakterien in den Wurzelknöllchen der Leguminosen, seine Notwendigkeit für das Wachstum höherer Pflanzen konnte noch nicht nachgewiesen werden. Allerdings ist es Bestandteil von Vitamin B₁₂, das von Tier und Mensch benötigt wird. Co ist relativ ungiftig für Tier und Mensch, ein Mangel ist daher weit bedenklicher als potenziell toxische Gehalte in Pflanzen [21, 32].

Die Co-Gehalte im Weizenkorn und in der Kartoffel (Mediane aus Tab. 9 ersichtlich) wurden zwar vom Standort beeinflusst, aber von der Sorte nicht

(Weizen) oder kaum (Kartoffel) – nur die Kartoffelsorte Hermes wies signifikant höhere Co-Gehalte auf als die anderen untersuchten Sorten.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| Österreich | 0,031 (<0,002–0,114) | 0,088 (<0,002–0,274) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 0,062 (0,036–0,072) | [14] |
| Österreich 1995 | 0,015±0,007 | – | [8] |

Tab. 9: Cobalt (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Chrom

Chrom ist für die tierische und menschliche Ernährung unbedingt notwendig, diese Essenzialität konnte für die Pflanzenernährung noch nicht nachgewiesen werden. Cr ist im Boden weitgehend immobil und liegt unter normalen Feldbedingungen im Boden zumeist als Cr(III) vor. Selbst bei Eintrag von toxischem Cr(VI) wird dieses durch die Anwesenheit von reduzierendem Material (z. B. Fe(II), organische Substanz) in Cr(III) umgewandelt [21]. Cr wird schlecht in die Pflanze aufgenommen und reichert sich eher in den Wurzeln als in Blättern und Früchten (Samen) an. Das zeigen auch die höheren mittleren Cr-Gehalte in der Sprossknolle Kartoffel verglichen mit dem Weizenkorn (siehe Tab. 10).

Ähnlich wie bei Co sind die Cr-Gehalte in der Kartoffel in einem größeren Ausmaß vom Standort, nicht (Weizen) oder kaum (Kartoffel) von der Sorte beeinflusst.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 0,19 (<0,02–0,68) | 0,55 (0,16–0,81) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 1,27/<-3,2 | [14] |
| Deutschland | – | 0,33 | [7] |
| Österreich 1995 | 0,24±0,14 | – | [8] |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | <0,02 | 0,34 (0,05–0,95) | [11] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | [0,057–0,073] | – | [6] |

[beim Referenzmaterial nur ein Richtbereich]

Tab. 10: Chrom (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Eisen

Eisen ist ein essenzielles Spurenelement für fast alle Lebewesen. Bei vielen Tieren und beim Menschen ist es als Zentralatom des Cofaktors Häm in Hämoglobin und Myoglobin für Sauerstofftransport und -speicherung zuständig. In Pflanzen ist Eisen Bestandteil von Häm-Verbindungen, wie z. B. der Cytochrome, aber auch von nicht-häm-eisenhaltigen Proteinen (z. B. Ferredoxin) [32]. Die gemessenen Fe-Gehalte im Weizenkorn sind gut mit anderen Untersuchungsergebnissen vergleichbar, während die der Kartoffel relativ niedrig liegen. Für die menschliche Ernährung ist

zu bedenken, dass die Resorptionsquote sich durch gleichzeitige Einnahme von Vitamin C erhöht, jedoch durch gleichzeitigen Verzehr von Milchprodukten, Kaffee oder schwarzem Tee gesenkt wird. Die Fe-Gehalte im Weizenkorn und in der Kartoffel (Mediane siehe Tab. 11) zeigen signifikante Unterschiede, sowohl betreffend den Standort als auch die Sorte. Die mittleren Gehalte nehmen bei den Kartoffelsorten wie folgt ab: Tosca (Ø 15,6 mg kg⁻¹ TS) > Ivana, Hermes (Ø 12,6 mg kg⁻¹ TS) > Ditta, Nicola (Ø 10,5 mg kg⁻¹ TS). Beim Weizen weisen die Sorten Fridolin und Dekan (Ø 27,0 mg kg⁻¹ TS) die niedrigsten und die Sorte Saturnus (35,6 mg kg⁻¹ TS) die höchsten Gehalte auf. Die Fe-Aufnahme in die Pflanze ist v. a. auf Standorten mit hohem Karbonatgehalt erniedrigt.

In Weizen vom gleichen Standort in Kroatien schwankten je nach Sorte und Bearbeitungsmethode der Fe-Gehalt zwischen 32,5 und 49,6 mg kg⁻¹ TS [33].

Die höheren Eisengehalte in den Studien [14] und [7] sind sicher auf den Einsatz ungeschälter Kartoffeln zurückzuführen, der Effekt ist allerdings geringer als z. B. beim Aluminium (siehe weiter vorne).

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Österreich | 30,0 (18,4–65,2) | 12,4 (5,5–21,6) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 34 | 23 | [12] |
| Deutschland 1989–93 | 36 | 27 | [9] |
| Deutschland | – | 31,6 (19–110)* | [14] |
| Wrocław 1995–96 | – | 40,3 | [17] |
| Rudna (bei Wrocław) 1995–96 | – | 50,6 | [17] |
| Österreich 1995 | 30,6±3,2 | – | [8] |
| Österreich 1998–2000 | 19,1–41 | – | [10] |
| Deutschland | – | 35* | [7] |
| Kroatien 2003 | 32,5–49,6 | – | [33] |
| Deutschland 2001–05 | 30–39 | – | [34] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | 68,3±1,9 | – | [6] |

*... mit Schale; von anderen Kartoffelproben unbekannt

Tab. 11: Eisen (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Kupfer

Kupfer ist sowohl bei Pflanzen als auch bei Tier und Mensch Bestandteil vieler Enzyme und daher essenziell. Kupfermangel tritt beim Menschen selten auf, v. a. im Getreidebau ist er ein bekanntes Phänomen, besonders auf alkalischen, kalkreichen, sandigen Böden. Auch in den vorliegenden Untersuchungen wiesen die Cu-Gehalte (Mediane siehe Tab. 12) ausgeprägte Standortunterschiede auf und waren in Weizen und Kartoffel umso niedriger, je höher der Sandgehalt war. Eine negative Korrelation zu pH-Wert und Karbonatgehalt konnte, zumindest bei Weizen, nicht nach-

gewiesen werden. Zum Vergleich: In Weizen vom gleichen Standort in Kroatien schwankte der Cu-Gehalt je nach Sorte und Bearbeitungsmethode zwischen 2,8 und 4,4 mg kg⁻¹ TS [33].

Besonders in den verschiedenen Weizensorten zeigten die Cu-Gehalte signifikante Unterschiede und damit ein differenziertes Aneignungsvermögen. Allgemein weisen Cu-Gehalte in der Erntepflanze <4 mg kg⁻¹ auf – zumindest latenten – Mangel hin [21].

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| Österreich | 4,0 (2,1–5,8) | 4,9 (1,7–8,3) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 3,8 | 3,7 | [12] |
| Deutschland | – | 6,9 (3,4–17) | [14] |
| Deutschland 1989–93 | 4,0 | 4,9 | [9] |
| Wrocław 1995–96 | – | 5,26 | [17] |
| Rudna (bei Wrocław) 1995–96 | – | 7,60 | [17] |
| Österreich 1995 | 3,54±0,46 | – | [8] |
| Österreich 1998–2000 | 3,2–5,9 | – | [10] |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | 3,5 (2,6–5,5) | 5,6 (2,2–49,6) | [11] |
| Deutschland | – | 3,9 | [7] |
| Kroatien 2003 | 2,8–4,4 | – | [33] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | 6,4±0,2 | – | [6] |

Tab. 12: Kupfer (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Kalium

Kalium ist ein Makroelement und essenziell für Pflanze, Tier und Mensch. Es spielt im Körper eine wesentliche Rolle bei der Regulation des Membranpotenzials und ist damit für die Steuerung der Muskelaktivität mitverantwortlich. Auch in der Pflanze aktiviert K viele Enzymsysteme, die das gesamte Stoffwechselgeschehen beeinflussen, insbesondere innerhalb der Photosynthese. Es fördert energieübertragende Prozesse durch den Aufbau und Transport energiespeichernder Verbindungen, insbesondere Kohlenhydrate, Proteine und Fette; es steuert den Wasserhaushalt durch Erhöhung des Turgordrucks in den Pflanzenzellen und reguliert die Spaltöffnungen, mindert den Trockenstress und verbessert die Frostresistenz durch Erniedrigung des Gefrierpunktes des Zellsaftes [35].

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 0,33 (0,24–0,42) | 2,03 (1,28–2,85) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 2,03 (1,23–3,23) | [14] |
| Deutschland | – | 2,76 | [7] |

Tab. 13: Kalium (% TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Der bekannte hohe K-Gehalt in den Kartoffeln ist auch aus der vorliegenden Untersuchung ablesbar (siehe Tab. 13) und stimmt gut mit Ergebnissen aus Deutsch-

land überein. Es sind sowohl signifikante Sorten- als auch Standortsunterschiede nachweisbar.

Magnesium

Magnesium wird im Stoffwechsel des Warmblüters von etwa 300 Fermenten benötigt, z. B. für den Stoffwechsel phosphorylierter Substanzen (ATP, ADP), die Proteinsynthese, usw. Magnesiummangel führt zu Wachstumshemmung, gesteigerter neuromuskulärer Erregbarkeit und zu Störungen des Immunsystems. Als tägliche Zufuhr für den Erwachsenen werden 350 mg/d für den Mann und 300 mg/d für die Frau empfohlen [31].

Im Chlorophyll der Pflanzen ist Magnesium als Zentralatom in einem Porphyrinringsystem komplex gebunden.

Die mittleren Mg-Gehalte der vorliegenden Untersuchung (siehe Tab. 14) stimmen sehr gut mit Untersuchungen aus Deutschland überein. Mg zeigt sowohl ausgeprägte Standortunterschiede bei Weizen und Kartoffeln als auch signifikante Sortenunterschiede. Bei der Kartoffel werden die Unterschiede kompensiert, wenn man die Mg-Gehalte in der Trockensubstanz betrachtet.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Österreich | 1217 (878–1562) | 909 (709–1112) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 1226 | 909 | [12] |
| Deutschland 1989–93 | 1200 | 1200 | [9] |
| Deutschland | – | 1100 (630–1400) | [14] |
| Deutschland | – | 1349 | [7] |

Tab. 14: Magnesium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Mangan

Mangan ist essenziell für Pflanze, Tier und Mensch. Es ist Bestandteil vieler Enzyme und steigert die Verwertung des Vitamins B₁, bedeutsam ist es für die Insulinproduktion der Bauchspeicheldrüse. In Pflanzen findet sich im Photosystem II ein Komplex mit vier Manganmolekülen. Dieser dient zur Spaltung von Wasser und der damit verbundenen Gewinnung von Elektronen [36].

Gute Übereinstimmungen mit den Untersuchungen aus Deutschland gibt es bei den mittleren Mn-Gehalten im Weizen und in der Kartoffel (siehe Tab. 15).

Bezogen auf die Frischsubstanz sind sowohl bei Weizen als auch bei Kartoffel signifikante Standort- und Sortenunterschiede zu erkennen. Bei der Kartoffel und bezogen auf die Trockensubstanz waren die Mn-Gehalte nur mehr am Standort Zwettl signifikant höher (8,70 mg kg⁻¹) verglichen mit den anderen Versuchsstandorten (Ø 6,08 mg kg⁻¹), dies dürfte v. a. auf den

niedrigen pH-Wert zurückzuführen sein. Sortenunterschiede waren nicht nachweisbar.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| Österreich | 36,4 (15,3–56,0) | 6,1 (4,4–11,2) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 36 | 5 | [12] |
| Deutschland | – | 7,8 (4,2–40) | [14] |
| Deutschland 1989–93 | 34 | 6,4 | [9] |
| Österreich 1995 | 32,2±1,4 | – | [8] |
| Österreich 1998–2000 | 24,1–46 | | [10] |
| Deutschland | | 6,2 | [7] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | 63,3±1,6 | | [6] |

Tab. 15: Mangan (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Molybdän

Molybdän ist für Tier und Mensch essenziell. Es ist außerdem Bestandteil von vier Enzymen höherer Pflanzen (Aldehyd-Oxidase, Xanthin-Dehydrogenase, Sulfid-Oxidase, Nitratreduktase). Außerdem ist Mo Bestandteil des für Leguminosen bedeutsamen Enzyms Nitrogenase [32]. Die Mo-Gehalte in den Erntepflanzen (Mediane aus Tab. 16 ersichtlich) sind stark vom Standort und nicht (Weizen) bzw. wenig (Kartoffel) von der Sorte abhängig. Die Mo-Gehalte in der Kartoffel sind positiv mit dem pH-Wert des Bodens korreliert, bei Weizen ist die Höhe des Mo-Gehaltes im Boden von Bedeutung.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 0,70 (0,13–1,90) | 0,35 (0,09–0,91) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 0,41 | 0,171 | [12] |
| Deutschland 1989–93 | 0,39 | 0,21 | [9] |
| Deutschland | | 0,27 (0,23–4,19) | [14] |
| Wrocław 1995–96 | – | 0,374 | [17] |
| Rudna (bei Wrocław) 1995–96 | – | 0,543 | [17] |
| Österreich 1995 | 0,25±0,05 | – | [8] |
| Deutschland | | 0,54 | [7] |

Tab. 16: Molybdän (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Natrium

Na⁺-Ionen spielen eine wesentliche Rolle bei der Regulierung des Wasserhaushaltes sowie bei der Übertragung von Nervenimpulsen bei Tier und Mensch; nur für manche (nathophile) Pflanzen ist es als nützliches Element zu bewerten.

Die Versorgung des Menschen mit Natrium erfolgt allerdings im Wesentlichen über das Kochsalz, nicht über pflanzliche Ernährung. Die Na-Gehalte in der

Kartoffel und im Weizenkorn (Mediane siehe Tab. 17) zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Standorten, aber keine (Kartoffel) bzw. nur wenige (Weizen) zwischen den Sorten.

Aus den erheblich höheren Gehalten der Kartoffeln in den deutschen Studien lässt sich schließen, dass ein wesentlicher Teil des Na in den Schalen gebunden ist. Beim Weizen findet man Na ebenfalls überwiegend in der Kleie und nicht im Mehl [25].

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| Österreich | 5,5 (<0,5–16,5) | 8,4 (3,3–34,6) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 171 (35–1800) | [14] |
| Deutschland | | 153 | [7] |

Tab. 17: Natrium (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Nickel

Nickel ist ein Spurenelement und wird von Pflanze, Tier und Mensch in sehr geringen Mengen benötigt. Es ist Bestandteil des Enzyms Urease in den Pflanzen und der Hydrogenasen in Tier und Mensch [32]. Weder bei den Ni-Gehalten (Medianwerte siehe Tab. 18) von Weizen noch von Kartoffel treten Unterschiede zwischen den Sorten auf, wohl aber sind signifikante Unterschiede zwischen den Standorten feststellbar, wobei u. a. die Ni-Gehalte des Bodens eine wesentliche Rolle spielen.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 0,59 (<0,02–2,06) | 1,09 (0,57–2,00) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 0,140 | 0,083 | [12] |
| Deutschland 1989–93 | 0,170 | 0,187 | [9] |
| Deutschland | – | 0,46 (0,18–1,14) | [14] |
| Österreich 1995 | 0,26±0,10 | – | [8] |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | 0,23 (0,12–0,77) | 0,63 (0,32–1,55) | [11] |
| Deutschland | | 0,98 | [7] |
| Sachsen, unkontaminiert | 0,301 | 0,565 | [7] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | [0,38] | | [6] |

[Referenzmaterial nur ein Richtwert]

Tab. 18: Nickel (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Phosphor

Phosphor ist ein für alle Lebewesen essenzielles Element. Phosphate kommen im menschlichen und tierischen Organismus als Calciumphosphat (Apatit) in den Knochen vor und sind auch Bestandteil von Energieträgern und -speichern in allen Stoffwechselfvorgängen wie Kohlenhydrat-, Fettstoff- und Eiweißstoffwechsel. Im pflanzlichen Stoffwechsel sind sie

wesentlich an der Photosynthese beteiligt, Bestandteil von Zellmembranen und wichtig zur Aufrechterhaltung der Zellstruktur, der Transport- und Austauschfunktion (Phospholipide, Phosphatide) [35]. Der wichtigste Eintragspfad von P in die Nahrungskette führt über die Pflanzen. Die mittleren P-Gehalte in Weizenkorn und Kartoffel sind aus Tab. 19 ersichtlich. P in Weizen und Kartoffel zeigt ausgeprägte Standort- und Sortenunterschiede. So weist die Weizensorte Dekan ($\bar{\varnothing}$ 0,28 % TS) die niedrigsten und die Sorte Erla Kolben ($\bar{\varnothing}$ 0,36 % TS) die höchsten P-Gehalte auf, bei Kartoffel sind die niedrigsten Gehalte in der Sorte Ditta ($\bar{\varnothing}$ 0,18 % TS), die höchsten in der Sorte Tosca ($\bar{\varnothing}$ 0,21 % TS) zu finden.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 0,33 (0,26–0,45) | 0,19 (0,13–0,27) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | – | 0,23 (0,12–0,41) | [14] |
| Deutschland | | 0,263 | [7] |
| Österreich | 0,143–0,305 | – | [10] |

Tab. 19: Phosphor (% TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Blei

Zählt neben Hg zu den Elementen, bei denen wenig physiologisch förderliche Wirkung bekannt ist. Eine Bleidefizienz in Ratten wurde mit Futter $<0,045 \text{ mg kg}^{-1}$ erreicht und führte zu Wachstumsstörungen und Hautkrankheiten [37]. Schälen bzw. Mahlen von Getreide und Kartoffeln senkt den Bleigehalt signifikant. Durch Abschaffung des verbleiten Benzins sank in Deutschland der durchschnittliche Bleigehalt in Kartoffeln von $0,124 \text{ mg kg}^{-1}$ auf $0,090 \text{ mg kg}^{-1}$ TS [38]. Aus einem belasteten Gebiet wurden in ungeschälten Kartoffeln $6,3 \pm 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ TS, in den geschälten jedoch nur $0,78 \text{ mg kg}^{-1}$ Blei gefunden [38]. Die Bleigehalte lagen in allen untersuchten Ernteproben (siehe Tab. 20) unter der Bestimmungsgrenze, und daher wurden auch keine Grenzwerte nach EU-Verordnung 466/2001 überschritten.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | $<0,01$ | $<0,01$ | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 0,034 | 0,035 | [5] |
| Deutschland 1989–93 | 0,030 | 0,061 | [9] |
| Deutschland | – | 0,13 (0,06–0,36) | [14] |
| Wroclaw 1995–96 | – | 0,58 | [17] |
| Rudna (bei Wroclaw) 1995–96 | – | 1,12 | [17] |
| Österreich 1995 | $0,28 \pm 0,07$ | – | [8] |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | $<0,05$ | 0,15 (0,07–0,79) | [11] |
| Deutschland 2003 | $0,081 \pm 0,009$ | 0,090 | [38] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | $0,379 \pm 0,012$ | | [6] |

Tab. 20: Blei (mg kg^{-1} TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Strontium

Strontium ist ein Erdalkalimetall und besitzt einen ähnlichen Atomradius wie Calcium. Der menschliche Körper unterscheidet kaum zwischen Ca und Sr, es kann daher wie Ca als Bestandteil der Knochen eingebaut werden. Die mittleren Sr-Gehalte der aktuellen Untersuchung zeigt Tab. 21. Die Strontiumgehalte (TS) sind in der Kartoffelknolle in Fuchsenbigl mit $\bar{\varnothing}$ $1,58 \text{ mg kg}^{-1}$ TS signifikant höher als auf den übrigen Standorten ($\bar{\varnothing}$ $0,47 \text{ mg kg}^{-1}$ TS). Es ist anzunehmen, dass auch die Pflanze in der Aufnahme nicht zwischen den beiden Elementen Sr und Ca unterscheiden kann. Darauf hin weist auch die Tatsache, dass die Sr- und Ca-Gehalte signifikant miteinander korreliert sind (Kartoffel: $r=0,91$, Weizen: $r=0,25$). Die Sr-Gehalte in den untersuchten Nahrungspflanzen zeigen wesentliche Sortenunterschiede. So weist die Weizensorte Capo ($\bar{\varnothing}$ $1,00 \text{ mg kg}^{-1}$ TS) die niedrigsten und die Sorte Dekan ($\bar{\varnothing}$ $1,79 \text{ mg kg}^{-1}$ TS) die höchsten Sr-Gehalte auf, bei Kartoffel sind die niedrigsten Gehalte in der Sorte Hermes ($\bar{\varnothing}$ $0,40 \text{ mg kg}^{-1}$ TS), die höchsten in der Sorte Ivana ($\bar{\varnothing}$ $0,80 \text{ mg kg}^{-1}$ TS) zu finden. Sr-Gehalte von den zugehörigen Böden liegen nicht vor.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Österreich | 1,23 (0,53–3,17) | 0,45 (0,20–2,26) | Aktuelle Arbeit |
| Deutschland | | 1,9 | [7] |

Tab. 21: Strontium (mg kg^{-1} TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Vanadium

Vanadium ist ein biologisch wichtiges Ultraspurenelement. Haupteinträge in die Böden werden durch weicherdeige Rohphosphate und Thomasprodukte verursacht [39]. Die V-Gehalte im Weizenkorn und in der Kartoffel (siehe Tab. 22) lagen z. T. unter der Nachweisgrenze und sind auch im Vergleich zu anderen Untersuchungen gering. Die V-Gehalte im Weizen zeigten weder Standort- noch Sortenunterschiede, in der Kartoffel wiesen sie ebenfalls keine Sorten- und nur geringe Standortunterschiede auf.

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Österreich | 0,006 ($<0,003$ –1,276) | 0,007 ($<0,003$ –0,031) | Aktuelle Arbeit |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | $<0,05$ | 0,35 (0,05–3,24) | [11] |
| Deutschland | – | 0,05–6,7 | [14] |
| Deutschland | | 0,019 | [7] |

Tab. 22: Vanadium (mg kg^{-1} TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Zink

Zink ist ein essenzielles Spurenelement für Pflanze, Tier und Mensch. Sehr hohe Gehalte in Böden können toxisch auf Pflanzen und Mikroorganismen wirken,

bei Menschen ist eine chronische Zinktoxizität durch hohe Zinkaufnahme über die normale Nahrung nicht bekannt. Hingegen ist Zinkmangel weltweit ein nicht unbekanntes Phänomen. Zn beeinflusst den Kohlenhydrat-, Protein- und Fettstoffwechsel, aktiviert das Immunsystem und wirkt als Antioxidans [32].

In der vorliegenden Untersuchung traten bezüglich Zn (mittlere Gehalte siehe Tab. 23) ausgeprägte Standortunterschiede bei beiden untersuchten Nahrungspflanzen auf, wobei der lösliche Zn-Gehalt im Boden für die Aufnahme in die Pflanze wichtig ist. Bei den Kartoffeln weist die Sorte Hermes signifikant höhere Zn-Gehalte in der Frischsubstanz auf, die sich allerdings bezogen auf die Trockensubstanz aufheben, da diese Sorte im Durchschnitt die niedrigsten Wassergehalte besitzt. Die Zn-Gehalte im Weizen werden durch die Sorte signifikant beeinflusst (Belmondo Ø 19,7 mg kg⁻¹ TS, Saturnus Ø 28,8 mg kg⁻¹ TS als Extremwerte).

| Land | Weizenkörner | Kartoffeln | Literatur |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Österreich | 23,0 (16,7–37,5) | 12,0 (7,8–19,6) | Aktuelle Arbeit |
| BR Deutschland 1989 | 32 | 14 | [12] |
| Deutschland 1989–93 | 29 | 14 | [9] |
| Wrocław 1995–96 | – | 21,8 | [17] |
| Rudna (bei Wrocław) 1995–96 | – | 18,0 | [17] |
| Österreich 1995 | 22,4±2,3 | – | [8] |
| Deutschland 1997 | – | 14,7 (10–25) | [14] |
| Österreich 1998–2002 | 18,1–34,2 | | [10] |
| Österreich 2002 (P-Düngungsversuch) | 27,1 (12,5–52,7) | 11,9 (5,5–19,1) | [11] |
| Deutschland | | 18 | [7] |
| Deutschland 2001–05 | 22–28 | – | [34] |
| BCR CRM 189 wholemeal flour | 56,0±1,7 | | [6] |

Tab. 23: Zink (mg kg⁻¹ TS) in Weizenkörnern und Kartoffeln.

Schlussfolgerungen

Die eingangs gestellten Fragen können wie folgt beantwortet werden:

- Der Landwirt kann durch Sortenwahl die Gehalte an wertgebenden bzw. schädlichen Elementen und damit ihre Aufnahme beeinflussen (siehe Tab. 24). Dies trifft insbesondere für P, K, Ca, Mg, Fe, Cu und Mn, Ba, Cd, Sr und Zn zu. Diese Elemente weisen auch signifikante Standortunterschiede auf.
- Die Elemente Be, Cr, Co, Mo, Ni und Na variieren v. a. in Abhängigkeit vom Standort, nicht bzw. weniger von der Sorte.
- Die Gehalte an Al, B und V unterscheiden sich weder in Abhängigkeit von der Sorte noch (bzw. wenig) vom Standort.

| Element | Elementaufnahme in Weizenkorn bzw. Kartoffel beeinflusst durch | |
|---------|--|----------|
| | Sorte | Standort |
| Al | - | (-) |
| Ba | + | + |
| Be | (+) nur Weizen | + |
| B | - | - |
| Cd | + | + |
| Ca | + | + |
| Co | (-) | + |
| Cr | (-) | + |
| Fe | + | + |
| Cu | + | + |
| K | + | + |
| Mg | + | + |
| Mn | (+) | + |
| Mo | (-) | + |
| Na | (+) nur Weizen | + |
| Ni | - | + |
| P | + | + |
| Sr | + | + |
| V | - | (-) |
| Zn | + | + |

Tab. 24: Beeinflussung Elementaufnahme.

Ein möglicher Grund für Sortenunterschiede in der Elementaufnahme könnte sein, dass die Verfügbarkeit (mobile Bodenfraktion) höher als die vom Genotyp bestimmte Mobilität innerhalb der Pflanze ist. Wenn die Verfügbarkeit zumeist gering (Al, Cr, V) oder die Mobilität innerhalb der Pflanze hoch ist (Na, B), dann wirkt sich der Genotyp nicht aus. Das wäre gegebenenfalls durch die Ermittlung geeigneter mobiler Bodenfraktionen und korrespondierende Messungen der jeweiligen Konzentrationen im Xylem- und Phloemsaft der Nutzpflanzen zu beweisen.

Danksagung

Die Autoren danken Herrn *DI Michael Oberforster* und Herrn *DI Clemens Mechtler* für die Bereitstellung der Pflanzenproben, den Mitarbeitern des Kompetenzzentrums Elemente für die Mitwirkung an der Analytik der Pflanzenproben und den Mitarbeitern der Abteilung Bodengesundheit für die Analytik der Bodenproben.

Literatur

- [01] *Aichberger K., Spiegel H.*: Schwermetalle im landwirtschaftlichen Stoffkreislauf mit Berücksichtigung von Futtermitteln. In: Österreichische Lebensmittelchemikertage 2006. Schadstoffe in Lebensmitteln und Futtermitteln. Tagungsband, 2006; 117–125.
- [02] BMLFUW: Grüner Bericht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2005.
- [03] BMLFUW: 2. Lebensmittelbericht Österreich. Bun-

desministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2003.

- [04] *Sager M., Werteker M.*: Selen und andere Elemente beim Backen von Semmeln. ALVA Jahrestagung, Stadtschlaining, 2007; 130–131.
- [05] *Brüggemann J., Kumpulainen J.*: The status of trace elements in staple foods. Some effects of cereal and potato processing. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1995; 201: 7–11.
- [06] *Cubadda F.* et al.: Influence of laboratory homogenization procedures on trace element content of food samples: an ICP-MS study on soft and durum wheat. *Food Add Contam*, 2001; 18 (9): 778–787.
- [07] *Anke M.K.*: Transfer of Macro, Trace and Ultra-trace Elements in the Food Chain. In: *Elements and their Compounds in the Environment*, 2nd Ed., *Merian E.* et al. eds., Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2004.
- [08] *Sager M., Mittendorfer J.*: Influence of Milling or Cutting Procedures on Trace Element Contents of Plant Samples. *Intern J Environ Anal Chem*, 1997; 67: 59–71.
- [09] *Brüggemann J.*: Erwünschte und unerwünschte Spurenelemente in Getreide, Kartoffeln und Ölsaaten. Schriftenreihe des BM für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A. *Angew Wiss*, 1999; 483: 32–51.
- [10] *Sager M., Hoesch J.*: Macro- and Micro Element Levels in Cereals Grown in Lower Austria. *Journal of Central European Agriculture*, 2005; 6 (4): 461–472.
- [11] *Spiegel H.*: Sustainable agriculture using blast furnace and steel slags as liming agents. Final Report. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel. Contract No: 7210 – PR, 2004; 267.
- [12] *Brüggemann J., Kumpulainen J.*: The status of trace elements in staple foods from the former Federal Republic of Germany. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1995; 201: 1–6.
- [13] *Brus D.J., Jansen M.J.W.*: Uncertainty and Sensitivity Analysis of Spatial Predictions of Heavy Metals in Wheat. *J Environ Qual*, 2004; 33: 882–890.
- [14] *Kolbe H.*: Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. *Kartoffelbau*, 1997; 48 (8): 318–323.
- [15] *Liebhart P., Mayer J., Lössl A., Eigner H.*: Einfluss unterschiedlicher Kaliumdüngermengen und Kaliumdüngerformen auf Knollenertrag und ausgewählte Qualitätsparameter bei Speise- und Industriekartoffel. ALVA Jahrestagung, Stadtschlaining, 2007; 118–120.
- [16] *Kabata-Pendias A., Pendias H.*: Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Edition, CRC Press London, 2001.
- [17] *Prosba-Bialczyk U., Mydlarski M.*: Wpływ warunków siedliska i właściwości odmian na zawartość pierwiastków śladowych w bulwach ziemniaka. *Bul Inst Hodowli i Aklimat Roslin*, 2000; 213: 45–53.
- [18] *Anke M., Müller M., Hoppe C.*: Recent progress in exploring the essentiality of the ultratrace element aluminum to the nutrition of animals and man. *Biomed Res Trace Elements*, 2005; 16 (3): 183–187.
- [19] *Schäfer U., Seifert M.*: Oral intake of aluminium from foodstuffs, food additives, food packaging, cookware and pharmaceutical preparations with respect to dietary regulations. *Trace Elements and Electrolytes*, 2006; 23 (3): 150–161.
- [20] *Anke M.* et al.: The Biological Importance of Barium in the Food Chain of Humans. In: *Metal Elements in Environment, Medicine and Biology*, Band 5, Proc. of the 5th International Symposium on Metal Elements in Environment, Medicine and Biology, *Garban Z.* et al. eds., Timișoara, 2002.
- [21] *Adriano D.C.*: Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals, 2nd Edition, Springer, New York, 2001.
- [22] *Hoefele J., Sietz M., Grote M., Janssen E.*: Untersuchungen zu Berylliumgehalten von Kartoffeln und Böden. *Agrobiol Research*, 1994; 47: 273–279.
- [23] *Rainey C.J., Nyquist L.*: The relationship of boron in foods and reduced risk of prostate cancer. 2nd Intern. IUPAC Symposium on Trace Elements in Food, Brussels/Belgium, 2004.
- [24] *Sager M.*: Druckaufschluss mit salpetersaurer Kaliumchloratlösung für die Spurenanalyse in pflanzlichem Material. ALVA Jahrestagung, Stadtschlaining, 2007; 27–29.
- [25] *Sager M., Werteker M.*: Spurenelementgehalte in Mahlfractionen verschiedener Weizensorten, in Vorbereitung.
- [26] *Sager M., Pechhacker H., Pechhacker M.*: Trace Elements in Honey (Zawartość pierwiastków śladowych w miodach) *Chem Inz Ekol – Ecol Chem Eng*, 2002; 9 (4): 461–472.
- [27] *Anke M., Dorn W., Müller M., Seifert M.*: Recent progress in exploring the essentiality of the ultratrace element cadmium to the nutrition of animals and man *Biomed Res Trace Elements*, 2005; 16 (3): 198–202.
- [28] *Spiegel H., Dersch G., Oberforster M., Mechtler K., Baumgarten A.*: Cadmium in Austrian wheat and potatoes – an inventory of sites and varieties. Abstract V 16715, 18th World Congress of Soil Science, July 9–15, Philadelphia, 2006.
- [29] *Wenzel W.W.* et al.: Effects of soil properties and cultivar on cadmium accumulation in wheat grain. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 1996; 159: 609–614.

- [30] *Jansson G.*: Cadmium in Arable Crops. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2002.
- [31] *Classen H.G.*: Magnesium als physiologischer kompetitiver Calciumantagonist. Magnesium Expertengespräch, *Gruber F.O.* Hrsg., Wilhelminenspital Wien, 1986.
- [32] *Nultsch W.*: Allgemeine Botanik. 11. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2001.
- [33] *Čupić M., Dragojević I.V., Svečnjak Z., Šebečić B.*: Iron and Copper contents of Wheat Grains as Related to Grain Protein. 2nd Internat. IUPAC Symposium – Trace Elements in Food, Brussels, 2004.
- [34] *Seifert M., Brüggemann J.*: Monitoring of iron and zinc in wheat and rye from Germany. *Inzynieria Ekologiczna*, 2006; 16: 59–60.
- [35] *Marschner H.*: Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press, 1995.
- [36] *Kaim W., Schwederewski B.*: Bioanorganische Chemie. Zur Funktion chemischer Elemente in Lebensprozessen. 4. Auflage, Teubner-Verlag, Wiesbaden, 2005.
- [37] *Reichlmayr-Lais A.M., Kirchgeßner M.*: Interactions between Lead and Iron Resulting from Lead Deficiency. In: Metal-Metal Interactions, *Elsenhans B.* et al. eds., Bertelsmann, Gütersloh, 1993.
- [38] *Anke M.* et al.: Lead in the food chain – lead intake and lead balance of man. In: Metal Elements in Environment, Medicine and Biology, *Garban Z., Dragan P.* eds., 2004; VI: 5–25.
- [39] *Sager M., Scholger R.*: Magnetic Measurements as a Rapid Screening Method for Fertilizers, *Journal of the Korean Institute of Mineral and Energy Resources Engineers*, 2002; 39 (5): 307–313.
- [40] Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, 1. Auflage; DGE, ÖGE, SGE und SVE Hrsg. Umschau/Braus GmbH, Frankfurt/Main, 2001.

Adresse der Autoren:

DI Dr. Heide Spiegel
 Univ.-Doz. Dr. Manfred Sager
 Österreichische Agentur für Gesundheit und
 Ernährungssicherheit GmbH – AGES
 Spargelfeldstraße 191
 1226 Wien
 adelheid.spiegel@ages.at
 manfred.sager@ages.at

DIE ERNÄHRUNG

ÖSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR WISSENSCHAFT, RECHT, TECHNIK UND WIRTSCHAFT

NUTRITION

AUSTRIAN JOURNAL FOR SCIENCE, LAW, TECHNOLOGY AND ECONOMY

Offizielles Organ der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) und ihrer Sektionen und Zweigvereine, des Fachverbandes der Nahrungs- und Genussmittelindustrie Österreichs, des Schutzverbandes der österreichischen Lebensmittelindustrie

HERAUSGEBER: Fachverband der Lebensmittelindustrie
 A-1030 Wien, Zaunergasse 1-3

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT:

Generaldirektor Univ.-Prof. Dr. iur. et rer. pol. W. Barfuß
 Univ.-Prof. DI Dr. nat. techn. E. Berghofer
 Univ.-Prof. DI Dr. nat. techn. Dr. h. c. E. Brandl
 Vizepräsident des OGH Hon.-Prof. Dr. K. Brustbauer
 Univ.-Prof. Dr. med. P. H. Clodi
 Univ.-Prof. Dr. med. W. Druml
 Univ.-Prof. Dr. agr. I. Elmadfa
 Univ.-Prof. Dr. med. J. M. Hackl
 Univ.-Prof. Dr. med. K. Irsigler
 OR Dr. L. Jirovetz
 Univ.-Prof. Dr. med. vet. J. Leibetseder
 Ass.-Prof. Dr. P. Paulsen
 Hon.-Prof. Dr. iur. K. Smolka
 Univ.-Prof. Dr. G. Sonntag
 ao. Univ.-Prof. Dr. I. Steiner
 Univ.-Prof. Dr. med. R. Wenger

CHEFREDAKTEUR: Dr. Michael Blass

REDAKTION „WISSENSCHAFT“: DI Dr. Udo Pechanek,
 Mag. Marlies Gruber

ÖSTERREICHISCHE SPIRITUOSENZEITUNG

FÜR INDUSTRIE, GEWERBE UND HANDEL
 FACHBLATT FÜR DIE SPIRITUOSENERZEUGUNG, WEIN- UND
 OBSTBRENNEREIEN, FRUCHTSÄFTE UND SEKTERZEUGUNG
 SOWIE GÄRUNGSESSIGE

Offizielles Organ des Verbandes der Spirituosenindustrie und des Schutzverbandes Österreichischer Spirituosen-, Sekt- und Fruchtsaftersteller

REDAKTION: Dr. Bruno Mayer

VERLEGER: Fachzeitschriftenverlagsges. m. b. H.
 A-1030 Wien, Schwarzenbergplatz 6
 t +43 1 715 31 93, f +43 1 715 48 19
 ernaehrung@dielebensmittel.at

GESCHÄFTSFÜHRER: Dr. Bruno Mayer

LAYOUT: Verena Meixner
 GRAFIK: Matthias Berke
 KORREKTORAT: Johann Schnellinger

ERNÄHRUNG/NUTRITION – ISSN 0250-1554 – erscheint elfmal jährlich.
 Nachdruck sämtlicher Artikel, auch auszugsweise, nur mit Quellenangabe,
 gegen Belegexemplar;
 Zitierung von wissenschaftlichen Beiträgen: ERNÄHRUNG/NUTRITION.

JAHRESABONNEMENT:
 Inland € 75,00; Einzelpreis Inland € 11,00 inkl. 10 % MwSt.
 Ausland € 95,00; Einzelpreis Ausland € 13,00
 Anzeigen: Es gilt Tarifblatt 2008.

ANZEIGENANNAHME: Verena Meixner
 t +43 1 715 31 93, f +43 1 715 48 19
 ernaehrung@dielebensmittel.at

HERSTELLER: Ueberreuter Print und Digimedia, A-2100 Korneuburg

Hinweis: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Publikation auf die konsequente Anwendung der geschlechtergerechten Schreibung von Personennamen, Berufsbezeichnungen etc. verzichtet. Bei ausschließlicher Nennung der männlichen Form gilt diese immer gleichwertig für Männer und Frauen.
 Aus Gründen der sprachlichen Einheitlichkeit sind in dieser Publikation alle englischsprachigen redaktionellen Texte in britischem Englisch (British English) abgefasst.