

GEHALTE AN HAUPT- UND SPURENELEMENTEN IN FRÜCHTEN UND BLÄTTERN VON ÄPFELN IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN UNTERLAGEN

MANFRED SAGER ¹ UND ANDREAS SPORNBERGER ²

¹ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES)
Sonderuntersuchungen Elementanalytik
A-1220 Wien, Spargelfeldstraße 191
E-Mail: Manfred.Sager@ages.at

² Andreas Spornberger
Universität für Bodenkultur, Abteilung für Wein- und Obstbau
A-1180 Wien, Gregor-Mendel-Straße 33
E-Mail: Andreas.Spornberger@boku.ac.at

In den Jahren 2012 und 2013 wurde der Einfluss der Unterlagen M9, M26, M7, MM111 und Sämling auf den Element- und Spurenelementgehalt von Früchten und Blättern der Apfelsorte 'Topaz' im Versuchsgarten der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Großjedlersdorf (Wien, Österreich) untersucht. Der Standort ist schwach alkalisch, Ca- und Mg-reich sowie K-arm, die Anlage wird nach Bio-Richtlinien bewirtschaftet. Nach zwei verschiedenen Aufschlussverfahren sowie in mobilen Bodenfraktionen wurden bis zu 41 Elemente mit ICP-OES und ICP-MS bestimmt. Sowohl in Früchten als auch in Blättern wurden Co und Mo und in geringerem Ausmaß auch Cs und Rb durch die Wuchsstärke bestimmt, Si nur in den Blättern. Vermutlich infolge unterschiedlicher Witterung kam es in den Früchten im zweiten Jahr zu tieferen B-, Cu- und Na-Gehalten sowie zu höheren Al-, Fe-, Cr- und Mn-Gehalten. Nur die Blätter, aber nicht die Früchte enthielten auf M26 mehr Mn und Co sowie weniger Si und auf M7 mehr P und Cu. Früchte und Blätter von Bäumen auf Sämling tendierten zu höherem K-Gehalt. Gehalte an Erdalkalien, Seltenen Erden, Al, B, S und vielen Spurenelementen zeigten weder in Blättern noch Früchten Unterschiede zwischen den Unterlagen. Die Elementverhältnisse zwischen Früchten und zugehörigen Blättern waren am kleinsten für Ba, Sr und Ca, am größten für Rb, Na und B. Sie hingen nicht vom Stickstoffgehalt in den Blättern ab. Die Untersuchung zeigt auch, dass man von der Analyse der Blätter nicht vorbehaltlos auf die Zusammensetzung der Früchte schließen kann, sondern dass elementspezifische Abweichungen auftreten können.

Schlagnworte: Elementgehalte, Apfel, Blatt, Unterlagen, Jahresunterschiede, Rubidium, Cäsium, Molybdän, Cobalt, Bor, Silizium

Main and trace elements in fruit and leaves of apples grown on various rootstocks. In 2012 and 2013 the effect of rootstocks M9, M26, M7, MM111, and seedling on the elemental composition of apple leaves and fruit of the variety 'Topaz' was investigated at the experimental site of the University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) in Großjedlersdorf (Vienna, Austria). The soil of this site is weakly alkaline, rich in Ca and Mg, but poor in K, and the site is organically managed. Up to 41 elements were

determined by ICP-OES and ICP-MS after two digestion procedures. Co and Mo concentrations in fruit and leaves as well as Cs and Rb to a lower extent, were affected by the vigour of the rootstocks, in case of Si in the leaves only. Presumably because of different weather conditions, fruit from the second year contained less B, Cu and Na, as well as more Al, Fe, Cr and Mn. Only the leaves, but not the fruit, which were grown on M26, contained more Mn and Co but less Si, and leaves but not fruit grown on M7 contained more P and Cu. Both leaves and fruits grown on seedling tended towards more K. Alkaline earths, rare earths, Al, B, S and many trace elements did not show differences in their element contents in leaves and fruit among the rootstocks investigated. The ratio of elements in fruit and corresponding leaves was smallest for B, Sr, and Ca, and largest for Rb, Na, and B. It did not depend on total nitrogen in the leaves. This investigation also shows that uncritical conclusions from leaf analysis data towards fruit composition are not reliable for each element, but specific deviations appear.

Keywords: element contents, apple, leaf, rootstocks, year-to-year variation, rubidium, caesium, molybdenum, cobalt, boron, silicon

In den letzten Jahren ist der Einsatz starker wüchsiger Apfel-Unterlagen vor allem im extensiven und biologischen Anbau und für den Nachbau diskutiert worden (RUESS, 2010; HORNIG und PAUL, 2011). Stärkere Unterlagen gelten als robuster als die Standardunterlage M9 (KEPPEL et al., 1998), besonders auf trockeneren Standorten. Auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel können sie aufgrund ihres besseren Wurzelsystems in Zukunft vermehrt an Bedeutung gewinnen, was die Versorgung mit Wasser und Nährstoffen betrifft. In einem mehrjährigen Feldversuch wurde der Einfluss verschiedener mittel- und starkwüchsiger Unterlagen bei der Apfelsorte 'Topaz' im Vergleich zu M9 untersucht, wobei in dieser Arbeit auf den Einfluss der Aufnahme von Mineralstoffen eingegangen wird.

Die Aufnahme von Mineralstoffen in Pflanzen läuft in mehreren Schritten ab. Am Beginn steht die Bewegung gelöster Spezies in der Bodenlösung hin zu den Wurzeln, was man durch die Erfassung mobiler Bodenfraktionen simulieren kann. Die Aufnahme erfolgt durch die Wurzelhaut, von hier der Transport zum Gefäßsystem der Wurzel durch die Plasmalemma-Membran und schließlich mit dem Xylemsaft zum Holz, zu den Blättern, Blütenblättern oder Früchten. Die Aufnahme durch die Wurzeln kann sowohl durch aktive Stoffwechselfvorgänge, wie z. B. für Na und K, als auch passiv erfolgen. Die Mycorrhiza modifiziert den Aufnahmeprozess durch Komplexierung mit Chitin in ihrer Zellwand. Im Xylemsaft werden sowohl anorganische Ionen als auch Metallkomplexe, z. B. Citrate, transportiert. Der umgekehrte Transport von den Blättern zu den Wurzeln im

Phloemsaft erfolgt bei hohen Phosphatkonzentrationen, infolgedessen werden Ionen, die schwerlösliche Phosphate bilden, wie Pb, Ca, Sr, Ba, nicht in die Wurzel transportiert (FARAGO, 1994). Die passive Aufnahme ist also durch die Verhältnisse in der Bodenlösung und nicht durch den Bedarf der Pflanze bestimmt und könnte daher spezifisch für den Standort sein.

Analysendaten von Apfelfrüchten in der Literatur sind selten. Im Obstbau konzentriert man sich auf die Zusammensetzung des Bodens bzw. mobiler Fraktionen. Obwohl die Apfelblätter kaum gefressen werden (weidende Tiere wurden in Apfelkulturen nicht beobachtet), wurden sie weit häufiger als die Früchte untersucht, weil dies analytisch leichter ist und die Blätter als Indikator für den Ernährungszustand des Baumes herangezogen werden, worauf in einer der nächsten Arbeiten eingegangen wird. In Totaldiätstudien wird häufig nur allgemein über Früchte berichtet, welche ohnehin meist einen bescheidenen Beitrag zur Spurenelementversorgung des Menschen leisten. Einzelne Daten über Äpfel finden sich in Nachschlagewerken, ohne Angabe von Sorte, Standort (Bodenzusammensetzung), Klima, Bewirtschaftung (bio – konventionell), Unterlage oder auch Analysemethoden. Sie können nur als Orientierungswerte dienen (Tab. 1). Es gibt Daten über neuere Untersuchungen über die Zusammensetzung verschiedenster Früchte, u. a. auch Äpfel der Sorten 'Antonovka', 'Cortland', 'Granny Smith', 'Idared', 'Jonagold' und 'Lobo', die auf einem Markt in Gdansk (Danzig) gesammelt wurden (GREMBECKA und SZEFER, 2013), sowie von Äpfeln unbekannter Sorte aus Velika Gorica in Kroatien (JURA-

NOVIĆ-CINDRIĆ et al., 2012). In ersterer Arbeit wurden geschälte und ungeschälte Früchte, in der zweiten Fruchtfleisch und Schalen getrennt analysiert. CHENG und RABA (2009) untersuchten Äpfel (Früchte und Blätter) der Sorte 'Gala', veredelt auf M26. Eine Arbeit, in welcher Blätter und Früchte von der gleichen Sorte am gleichen Standort auf unterschiedlichen Unterlagen untersucht wurden, konnte nicht gefunden werden.

MATERIAL UND METHODEN

VERSUCHSFLÄCHE

In einer im Herbst 2008 im Versuchsgarten der Universität für Bodenkultur in Jedlersdorf gepflanzten Apfelanlage der Sorte 'Topaz', die auf der schwachwüchsigen Unterlage M9 T337 ohne und mit Zwischenveredlung (Rubinola), den mittelstarkwüchsigen Unterlagen M26, M7 (normal = 5 bis 10 cm über dem Boden, und hoch = in 40 cm Höhe veredelt) und MM111 sowie auf Sämling (Bittenfelder) veredelt waren, wurde die Zusammensetzung von Apfel Früchten und -blättern untersucht. Die Einteilung der Unterlagen nach der Wuchsstärke erfolgte nach KEPPEL et al. (1998). Die Sorte 'Topaz' ist die derzeit in Österreich im biologischen Anbau am meisten angebaute Apfelsorte, sie gilt als Lagersorte und guter Vitamin C-Träger mit ausgewogenem Zucker/Säure-Verhältnis, mit frühem Blühtermin und späterer Ernte (RUESS, 2012). Die Apfelbäume stehen in 5 Reihen zu je 4 Bäumen pro Variante als schlanke Spindel und werden nach den Richtlinien des biologischen Anbaus bewirtschaftet. In jeder Reihe wurden sämtliche Bäume möglichst gleichmäßig rundherum beprobt und Proben von gleicher Unterlage zu einer Sammelprobe zusammengefasst, um eventuelle Unterschiede zwischen Sonnen- und Schattenseite auszugleichen. Bei Blättern wurde vorwiegend das dritte Blatt, gezählt von der Astspitze aus, genommen. Sämtliche Blätter wurden am selben Tag beprobt.

Beim Boden der Versuchsfläche handelt es sich um einen Tschernosem auf Lösslehm, pH-Wert 7,6 bis 7,8, mit etwa 7 % Gesamt-Ca und niedriger Kaliumversorgung. Im zweiten Standjahr 2010 sowie jährlich ab 2013

erfolgte eine organische Düngung mit Biofert (Wilfinger GmbH & Co KG, Bad Blumau, Österreich) im Ausmaß von 30 kg N/ha.

Die Früchte eines Jahres wurden am selben Tag beprobt und zum Lagern in Papiersäckchen gefüllt. Im Jahre 2012 war der Blühtermin der 19. 4. und der Erntetermin der 25. 9., im Jahre 2013 war der Blühtermin der 29. 4. und der Erntetermin der 2. 10. Die Blattprobenahme erfolgte normgemäß in der ersten Juniwoche.

ANALYSEMETHODEN

Die Blätter wurden mit Handschuhen auf einem Plastiksieb mit destilliertem Wasser gewaschen, in offenen Polyäthylensäcken gefriergetrocknet, schließlich in diesen von außen berührungsfrei zerrieben und im Juli 2012 analysiert.

Die Früchte wurden nach der Ernte bei 4 °C im Kühlkammer gelagert. Die Ernte 2012 wurde in kleinen Chargen von Oktober bis Dezember über jeweils 2 Nächte gefriergetrocknet und im August 2013 analysiert. Die Ernte 2013 wurde im April und Mai 2014 gefriergetrocknet und im Juli und August 2014 analysiert. Je 3 bis 4 Früchte wurden ebenfalls mit Handschuhen gewaschen, mit einem Keramikmesser in 4 oder 6 gleiche Teile geteilt, zwei gegenüberliegende Sektoren weiter zerkleinert und die Kerngehäuse ausgeschnitten, in Kunststoffgefrierbeutel gefüllt und verschlossen. Diese wurden dann in einem Haushaltsmikrowellenofen leicht erhitzt und mit der Hand zerquetscht, die wieder geöffneten Säckchen wurden im Gefriertrockner evakuiert. Nach 1 bis 2 Nächten entstand nach neuerlichem Quetschen so ein Pulver, welches im Exsikkator bis zur Einwaage gelagert wurde. So gelangten die Proben mit keinen Mahlwerkzeugen mehr in Kontakt. Diese Vorgangsweise wurde in einem Vorversuch mit mehreren Varianten ausgewählt. Die Blätter wurden gewaschen, um anhaftenden Staub zu entfernen, und dann gefriergetrocknet. Der Wassergehalt wurde nicht erhoben, könnte aber in der gleichen Größenordnung wie jener der Früchte liegen.

Die Proben wurden auf zwei voneinander unabhängige Arten mindestens zweimal aufgeschlossen und die Ergebnisse abschließend verglichen und gemittelt. Für den Aufschluss mit Salpetersäure wurden 0,25 g getrock-

nete Probe in PTFE-Druckgefäße eingewogen, mit 3,8 ml HNO₃ und 0,1 ml HF versetzt, verschlossen und im Mikrowellenofen aufgeschossen. Für den Aufschluss mit salpetersaurer Kaliumchloratlösung (20 g KClO₃ p.a. + 200 ml H₂O + 80 ml HNO₃ suprapur) wurden 1 g Probe in PTFE-Druckgefäße eingewogen, mit 8 ml Aufschlusslösung versetzt, verschlossen und ebenfalls im Mikrowellenofen aufgeschossen. Als Mikrowellenaufschlussgerät stand ein "mls 1200 mega high performance microwave digestion unit" (MLS GmbH, Leutkirch, Deutschland) zur Verfügung, wobei folgendes Zeit/Energie-Programm ausreichte: 3 min 250 W / 2 min 0 / 5 min 250 W / 5 min 400 W / 5 min 500 W. Nach Kühlen und Öffnen wurden die Proben mit hochreinem Wasser in Kunststoffkolben gespült und auf 25 ml aufgefüllt. Da auch B und Si gemessen wurden, war der Kontakt mit Glas streng zu vermeiden (SAGER, 2011).

Die ICP-Multi-Elementanalyse wurde auf einem Perkin-Elmer Optima 3000 XL mit waagrecht brennender Fackel durchgeführt. Für die KClO₃-Aufschlüsse wurden Kalibrationslösungen mit Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V und Zn mit gleicher Menge KClO₃ wie in den Proben verwendet, für die HNO₃-Aufschlüsse die sonst üblichen mit Matrix K, Ca und P. Das verwendete KClO₃ war sehr sauber, wie man aus dem Vergleich von 2 Blindwerten aus jeder Serie mit den Werten für Reinstwasser leicht erkennen kann; nur K und Rb konnten in diesen Aufschlüssen nicht bestimmt werden. Die Nichtmetalle B, Si, P und S wurden in getrennten Läufen aus den KClO₃-Aufschlüssen bestimmt und gegebenenfalls manuell verdünnt, da der Dilutor Glasteile enthält. Schließlich wurden La, Ce, Y, Sc und Ti aus den unverdünnten Lösungen mit geringerer Plasmaenergie sowie die Hauptelemente Ca, Mg, Na, P sowie Sr aus 1+4 Verdünnungen gegen wässrige Kalibrationslösungen bestimmt (SAGER, 2011).

Für die ICP-MS Messungen auf einem Perkin Elmer Sciex ELAN DRC II wurden die Proben 1+9 verdünnt, Indium als interner Standard zugefügt und die Elemente Bi, Cd, Co, Mo, Ni, Pb, Tl sowie Y und die seltenen Erden gemessen. Gesamtjod wurde in getrenntem Ansatz nach 1/10 Verdünnung mit Standardaddition (x+2 und x+4 µg/l) als Jodat in Gegenwart von 1/80 verdünnter KClO₃ Aufschlusslösung bestimmt (SAGER, 2011).

Die Bodenprobenahme erfolgte standardisiert aus etwa

20 Einstichen mit einem Stechbohrer, der Boden der Versuchsfläche ist etwa einheitlich. Gemäß der von SAGER (2012) beschriebenen Methode wurde 1 g Boden in Zentrifugenröhrchen aus Kunststoff eingewogen und mit 20 ml 0,16M Essigsäure (9,1 ml konz. in 1 l) nach dem Verschließen mit Parafilm über Nacht kreisend mit etwa 180 U/min geschüttelt. Das Filtrat enthält karbonatgebundene und schwach-säuremobile Anteile.

Nach dem Filtrieren über Rotband wurde der Rückstand mit 20 ml 0,1M Oxalatpuffer pH 3 (6,3 g Oxalsäure + 7,1 g Ammonoxalat in 1 l) 2 Stunden geschüttelt. Das Filtrat enthält die in den pedogenen Oxiden gebundenen Anteile.

Für den Druckaufschluss mit Kaliumchlorat-Salpetersäurelösung werden je 1 g Boden in Druckaufschlussgefäße eingewogen und mit 8 ml Aufschlusslösung versetzt. Die Aufschlusslösung entspricht einer Lösung von 20 g Kaliumchlorat (KClO₃) in 200 ml H₂O + 80 ml conc. HNO₃ suprapur, an Oxidationsäquivalenten 181 meq (übertragene Elektronen pro Formeleinheit) aus HNO₃ und 28 meq aus KClO₃, zusammen 209 meq.

WITTERUNG

Die Wetterdaten wurden am Versuchsgelände viertelstündlich aufgezeichnet und zur Auswertung monatlich gemittelt. Zum Vergleich dient der langjährige Durchschnitt der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik im nahen und klimaähnlichen Großenzersdorf (Tab. 2).

Die Jahre 2012 und 2013 unterschieden sich stark im Witterungsverlauf (Abb. 1 und 2). Im Jahr 2012 war es vor und während der Blühperiode relativ trocken, die Hauptniederschlagsmenge fiel mit dem Temperaturmaximum etwa zusammen, und der August war trocken und heiß. Gegenüber dem langjährigen Durchschnitt waren 2012 der Mai und der August trocken und der August auch etwas wärmer.

Im Jahr 2013 war es während der Blühperiode und auch nach der Ernte feucht, mit einem trockenem, heißen Juli. Gegenüber dem langjährigen Durchschnitt waren 2013 der Mai, Juni und September feuchter, der Juli trockener und heißer. 2013 war der Blühtermin etwa drei Wochen und der Erntetermin etwa eine Woche später als 2012.

Tab. 1: Vergleich der Daten von Früchten mit Daten anderer Autoren (in mg/kg Trockenmasse)

	Äpfel (SOUCI et al., 2000)*	Äpfel Gala M26 (CHENG und RABA, 2009)	Äpfel Polen (GREMBECKA und SZEFER, 2013)	Äpfel Kroatien (JURANOVIČ- CINDRIČ et al., 2012)	Diese Studie: Topaz 2012 Bereich	Diese Studie: Topaz 2013 Bereich
Al	4,37				0,41 – 3,42	1,78 – 6,29
B	16,2	21,8			21,2 – 50,1	15,90 – 36,9
Ba					0,56 – 1,30	0,76 – 1,87
Be					< 0,003 – 0,009	< 0,003 – 0,006
Br	1,32					
Ca	384	500	126 – 277	4410	193 – 402	201 – 340
Cd				< 0,5	< 0,001 – 0,007	< 0,001 – 0,002
Ce					< 0,001 – 0,0373	0,0024 – 0,0167
Cl	146					
Co	0,0395				0,0054 – 0,0180	0,0053 – 0,0160
Cr	0,272		0,08 – 0,79		< 0,05 – 0,09	< 0,05 – 0,08
Cs					0,0053 – 0,0172	0,0045 – 0,0185
Cu	3,44	3,8	0,7 – 3,0		2,86 – 6,38	2,45 – 5,87
Er					< 0,0002 – 0,0010	< 0,0002 – 0,0004
Eu					< 0,0001 – 0,0008	< 0,0001 – 0,0006
F	0,603					
Fe	16,4	25,3	22 – 55		1,56 – 6,28	2,70 – 5,86
Gd					< 0,0002 – 0,0028	< 0,0002 – 0,0014
Ho					< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0001
J	0,054				< 0,002 – 0,043	0,0096 – 0,0715
K	8079	8000	3145 – 5614	38600	3546 – 5799	3654 – 5671
La					< 0,0003 – 0,044	< 0,0006 – 0,0064
Li					0,015 – 0,043	0,016 – 0,034
Lu					< 0,0001 – 0,0003	< 0,0001 – 0,0001
Mg	377	400	225 – 321	3140	256 – 352	241 – 323
Mn	2,98	7,8	2,4 – 5,9	0,67	1,35 – 2,48	1,59 – 3,39
Mo	9,93				0,033 – 0,105	0,036 – 0,096
N		2500				
Na	79,5		3 – 94	9920	37,2 – 74,6	11,1 – 33,3
Nd					< 0,0003 – 0,038	< 0,0003 – 0,0076
Ni	0,16		0,07 – 0,33		< 0,25 – 0,80	< 0,25 – 0,28
P	728	600	526 – 1436		461 – 720	479 – 715
Pb					< 0,01 – 0,11	< 0,01 – 0,04
Pr					< 0,0003 – 0,0104	< 0,0001 – 0,0020
Rb					2,46 – 4,98	2,21 – 4,86
S		200			165 – 307	211 – 266
Se	0,093					
Si	33,1				< 0,3 – 13,18	2,70 – 9,35
Sm					< 0,0002 – 0,0031	< 0,0002 – 0,0016
Sn	0,53					
Sr				0,91	0,411 – 0,905	0,507 – 1,033
Tb					< 0,0002 – 0,0004	< 0,0002 – 0,0004
Ti**					< 0,06 – 0,14	< 0,06 – 0,12
V	0,23				< 0,04	< 0,04
Y					0,0003 – 0,0100	0,0001 – 0,0038
Zn	6,49	3,5		3,08	0,78 – 2,74	1,05 – 2,32

*umgerechnet auf mg/kg Trockenmasse mit dem angegebenen Wassergehalt

** Aufschluss ohne Flusssäure

Wetterdaten Großjedlersdorf 2012

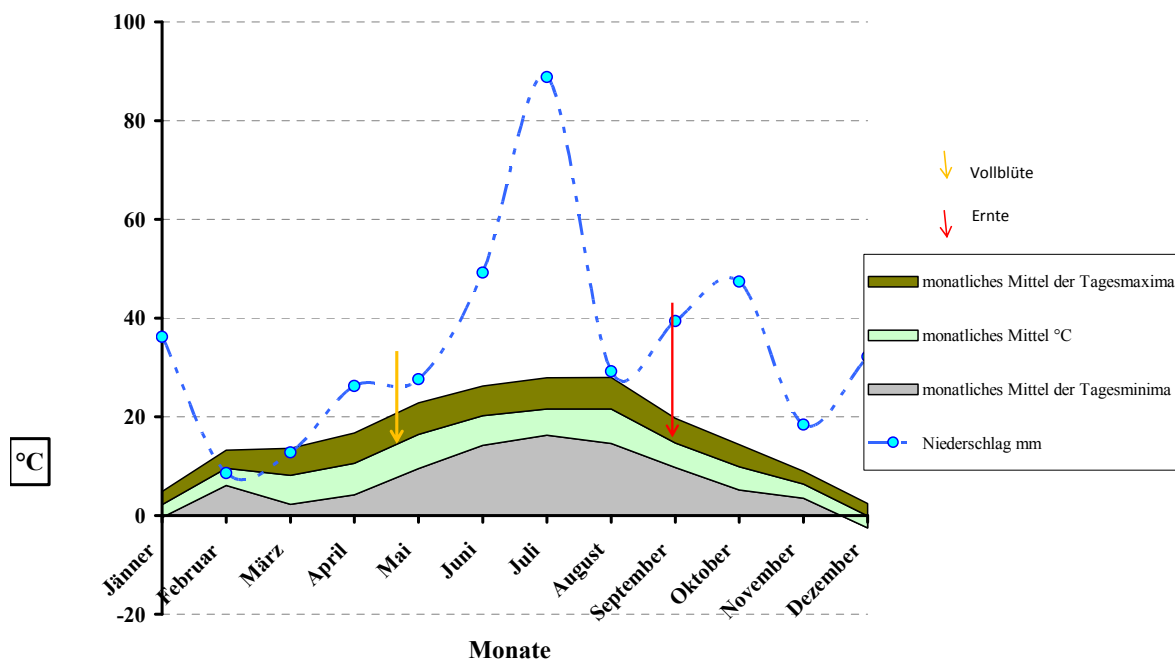


Abb. 1: Gemittelte Wetterdaten aus Großjedlersdorf (Wien) 2012

Wetterdaten Großjedlersdorf 2013

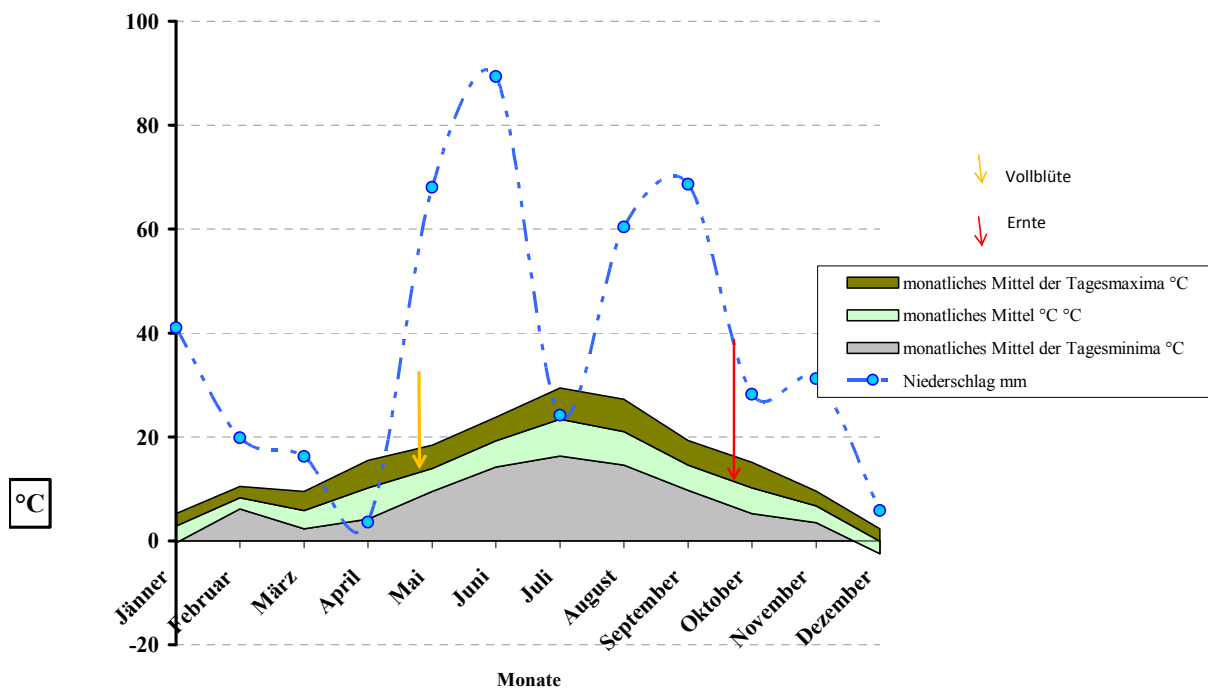


Abb. 2: Gemittelte Wetterdaten Großjedlersdorf (Wien) 2013

ERGEBNISSE

Da nicht alle Proben gleichzeitig analysiert werden konnten und daher Wasserverluste durch unterschiedliche Lagerung auszugleichen waren, wurden alle Werte auf Trockenmasse bezogen. Beim Gefriertrocknen der Früchte ließen sich die letzten Wassermengen nur langsam entfernen, der Unterschied zwischen klebriger und pulverförmiger Konsistenz war gering. Während die Früchte aus 2012 beginnend unmittelbar nach der Ernte Ende Oktober bis Mitte Dezember aufgearbeitet wurden, wurden die Früchte aus 2013 im Keller des alten Hauptgebäudes der Universität für Bodenkultur in Wien bis zum 1. April gelagert, was nicht den modernsten technischen Möglichkeiten entspricht. Der durch Gefriertrocknung ermittelte Wassergehalt für die Ernte 2012 lag im Bereich 81,2 bis 84,5 % (oder: $82,6 \pm 0,76$

%) und für die Ernte 2013 im Bereich 79,8 bis 82,4 % (oder $80,9 \pm 0,85$ %), was aber durch den Bezug sämtlicher Daten auf Trockenmasse keine Rolle spielt.

BODEN

Beim Boden der Versuchsfläche handelt es sich um einen Tschernosem auf Lößlehm, pH-Wert 7,6 bis 7,8. Der Boden enthält etwa 7 % Ca ($13,5 / 16,8$ % CaCO_3), wobei mehr als die Hälfte bereits in verdünnter Essigsäure löslich ist. Die Bewertung erfolgte gemäß den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BAUMGARTEN, 2006). Die Kaliumversorgung wird als niedrig eingestuft, anderer Nährstoffmangel sowie Kontaminationen mit Metallen wurden nicht festgestellt (Tab. 3); weitere Bodendaten finden sich in Tabelle 4.

Tab. 2: Wetterdaten Großenzersdorf 1971 bis 2000 (t = Tagesmittel; mtmax = Mittel aller täglichen Maxima; mtmin = Mittel aller täglichen Minima; l/m² = die pro Quadratmeter gefallenen Liter Regen; der Jahresniederschlag ist die Summe aus den 12 Monaten)

	t	mtmax	mtmin	Tmax	Tmin	Tage > 25°C	Tage > 30°C	l/m ²
Jan	-0,4	2,5	-2,9	16,8	-23,3	0,0	0,0	28,0
Feb	1,1	4,9	-1,7	18,2	-20,6	0,0	0,0	27,9
Mar	5,3	10,1	1,6	25,0	-18,8	0,0	0,0	35,4
Apr	9,7	15,2	5,1	27,1	-3,7	0,6	0,0	38,8
Mai	14,8	20,5	9,6	30,2	-0,6	5,1	0,1	55,2
Jun	17,8	23,3	12,6	36,7	3,0	11,0	1,6	67,4
Jul	20,0	26,0	14,4	36,2	6,6	18,8	5,3	59,5
Aug	19,6	25,8	14,4	36,8	4,0	17,9	5,5	50,2
Sep	15,2	20,9	11,0	31,7	1,4	5,7	0,3	49,8
Okt	9,7	14,7	6,2	26,9	-8,0	0,2	0,0	32,1
Nov	4,2	7,5	1,8	20,6	-14,8	0,0	0,0	42,7
Dez	1,1	3,8	-1,1	18,1	-23,1	0,0	0,0	33,0
Jahr	9,8	14,6	5,9	36,8	-23,3	59,3	12,8	520,0

Tab. 3: Ergebnisse der routinemäßigen Bodenanalyse der am 10.6.2012 entnommenen Bodenproben (im < 2 mm gesiebten Feinboden)

	0 - 25 cm	25 - 50 cm	Bewertung	Methode
pH-Wert (CaCl_2)	7,6	7,8	Alkalisch	ÖNORM L 1083
CaCO_3 (Scheibler)	13,5 %	16,8 %	Hoch	ÖNORM L 1084
Phosphor (CAL, als P_2O_5)	72 mg/kg	23 mg/kg	Ausreichend – sehr niedrig	ÖNORM L 1087
Kalium (CAL, als K_2O)	90 mg/kg	27 mg/kg	Niedrig – sehr niedrig	ÖNORM L 1087
Magnesium (CaCl_2)	109 mg/kg	84 mg/kg	Hoch – ausreichend	ÖNORM L 1093
Humusgehalt	3,8 %	2,8 %	Humos	ÖNORM L 1080
Bor (Baron)	2,7 mg/kg	2,2 mg/kg	Hoch - mittel	ÖNORM L 1090

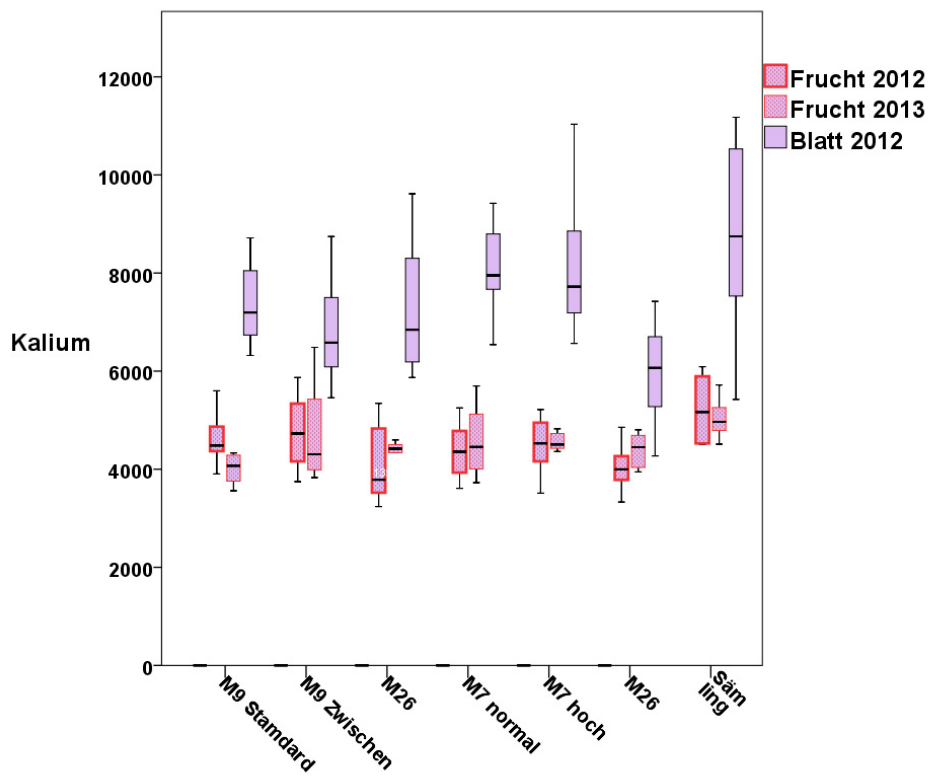


Abb. 3: Kalium (in mg/kg)

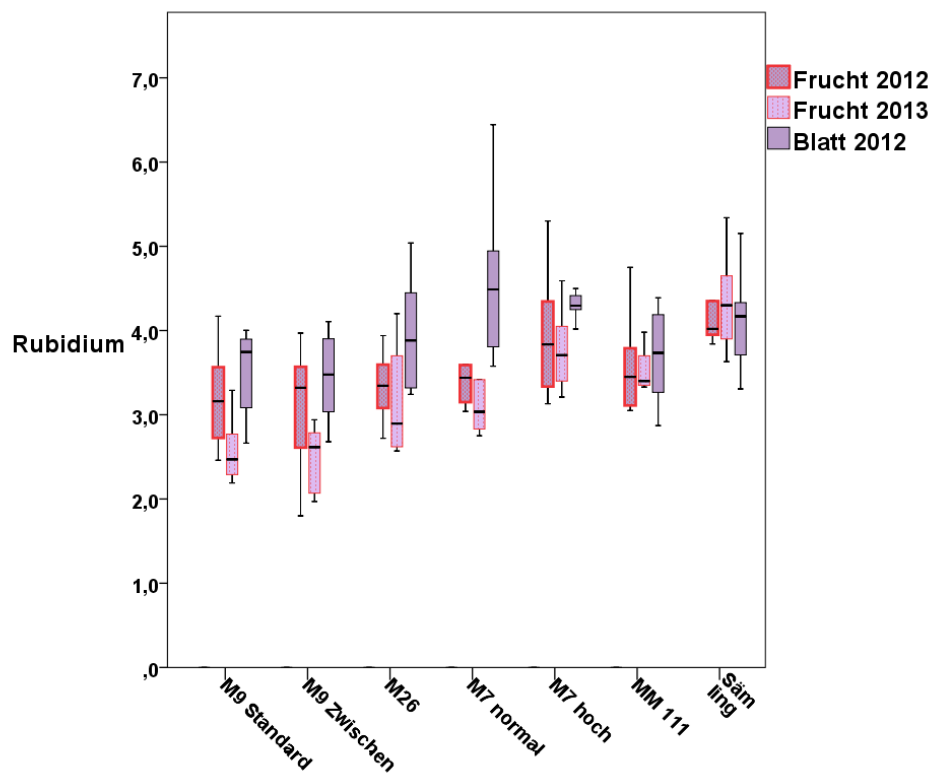


Abb. 4: Rubidium (in mg/kg)

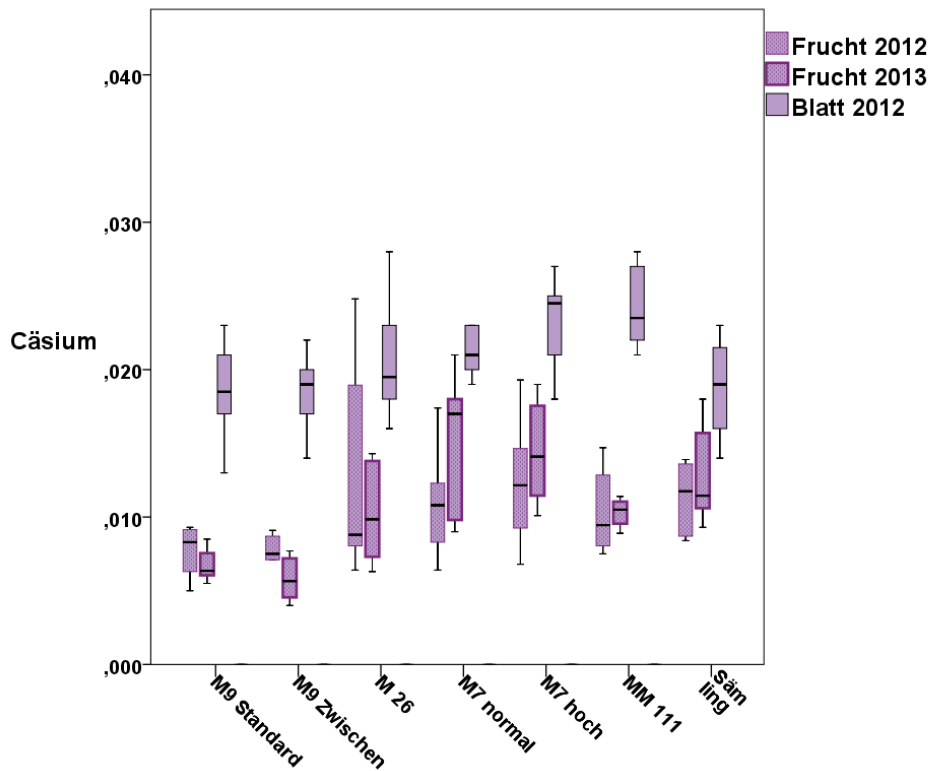


Abb. 5: Cäsium (in mg/kg)

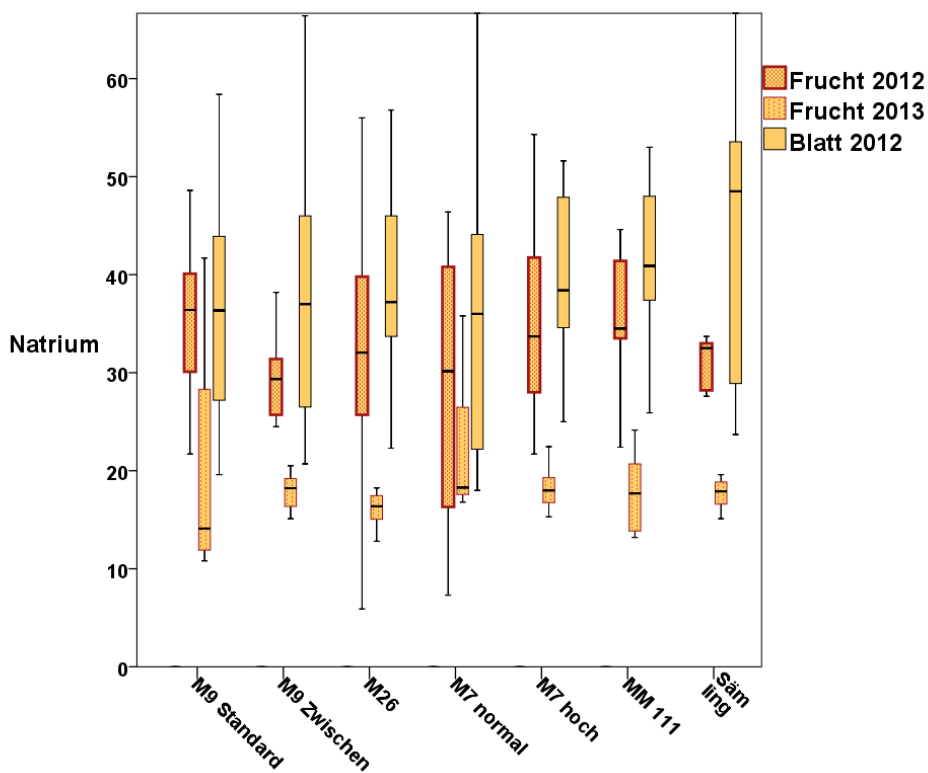


Abb. 6: Natrium (in mg/kg)

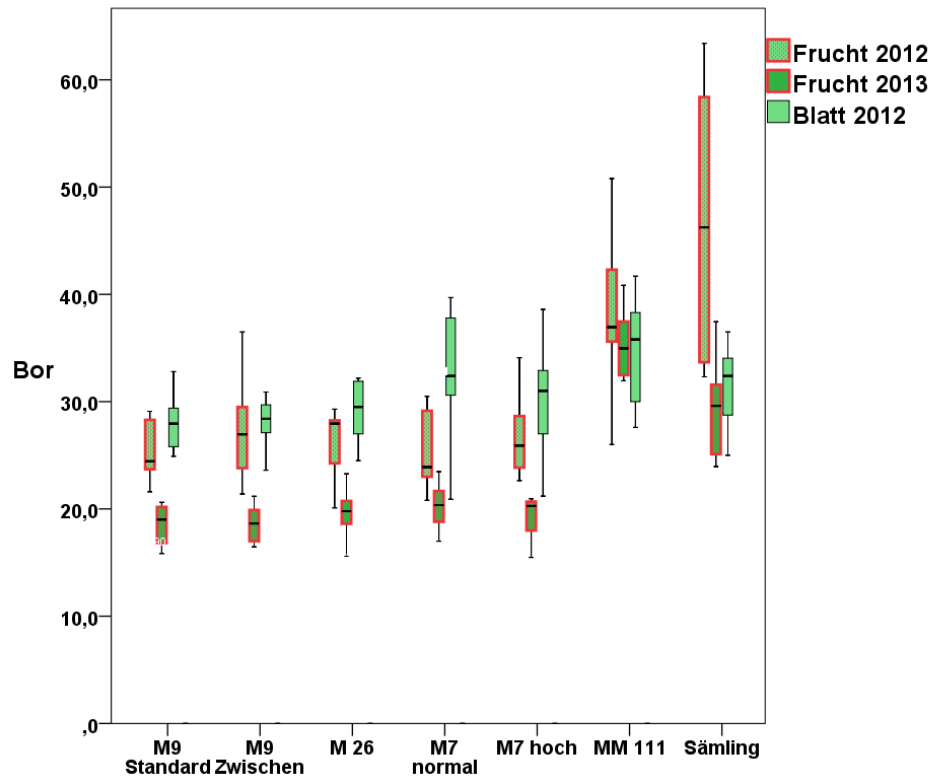


Abb. 7: Bor (in mg/kg)

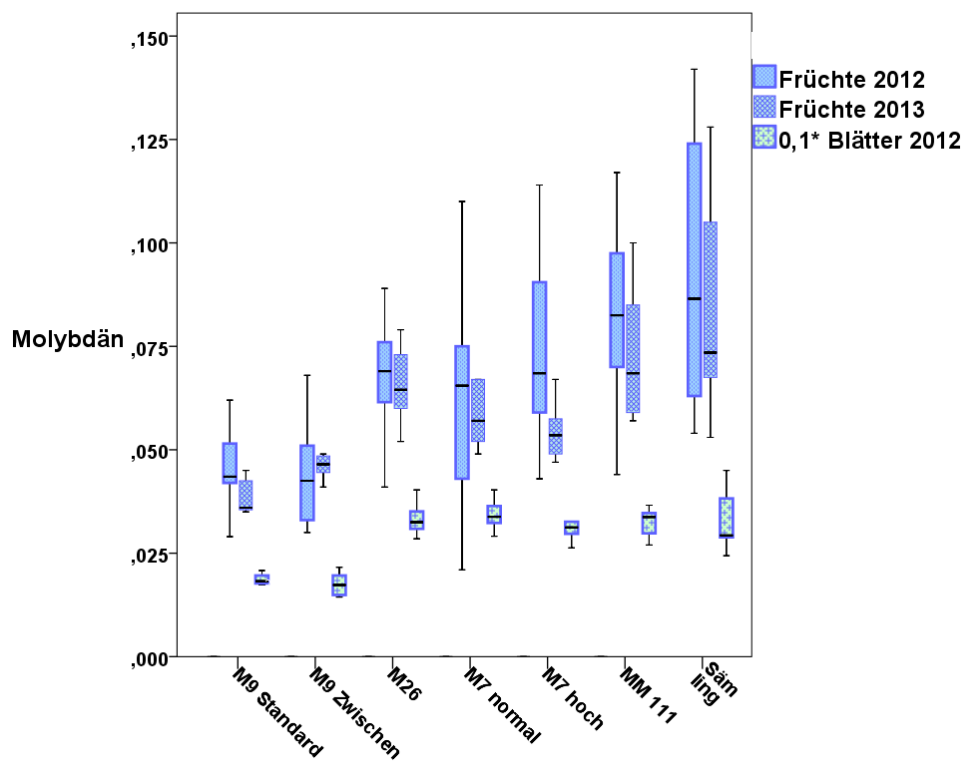


Abb. 8: Molybdän (in mg/kg)

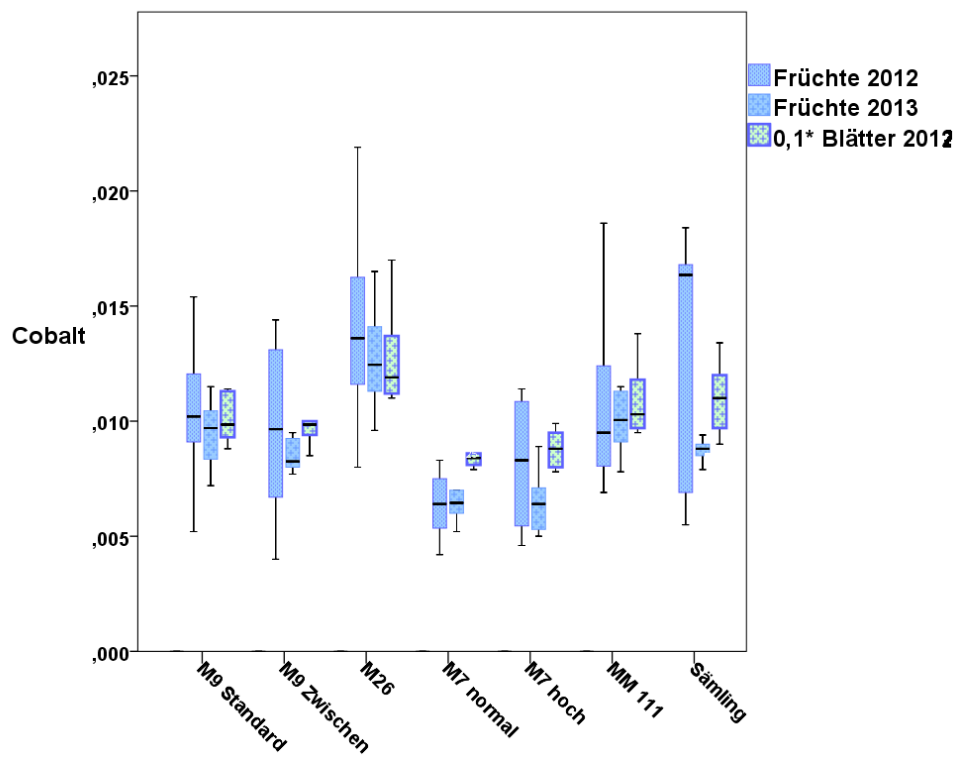


Abb. 9: Cobalt (in mg/kg)

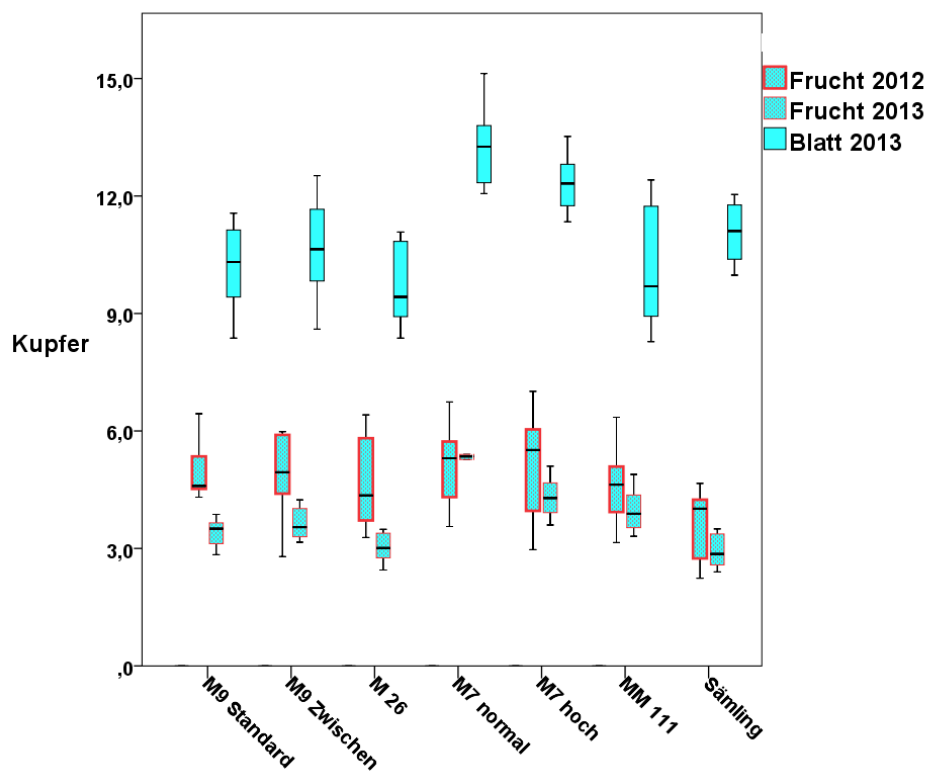


Abb. 10: Kupfer (in mg/kg)

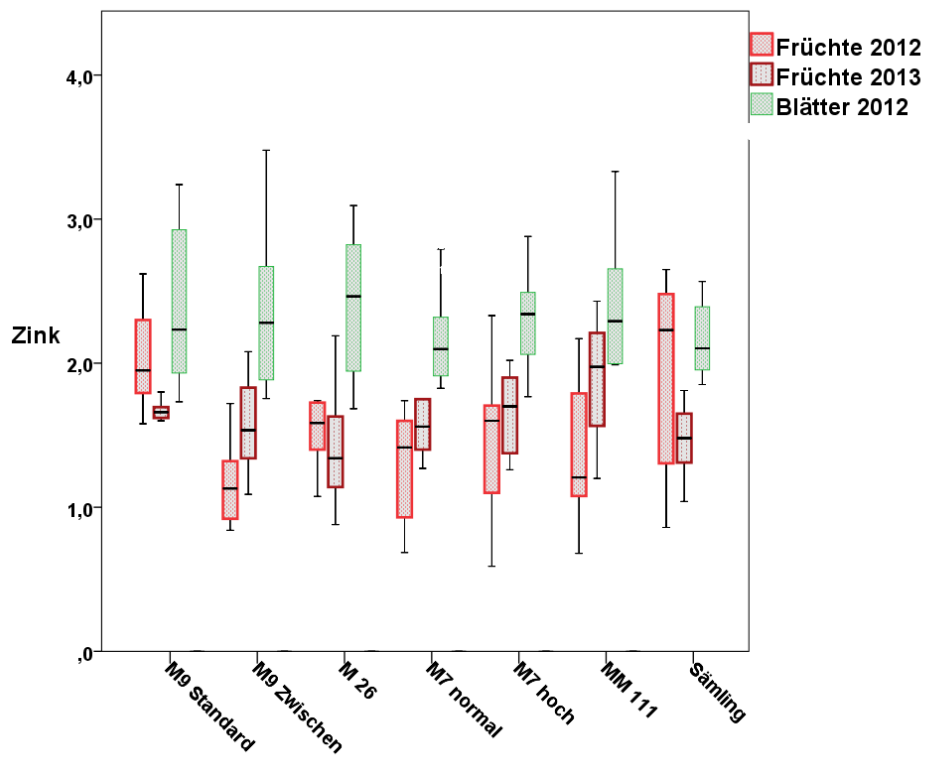


Abb. 11: Zink (in mg/kg)

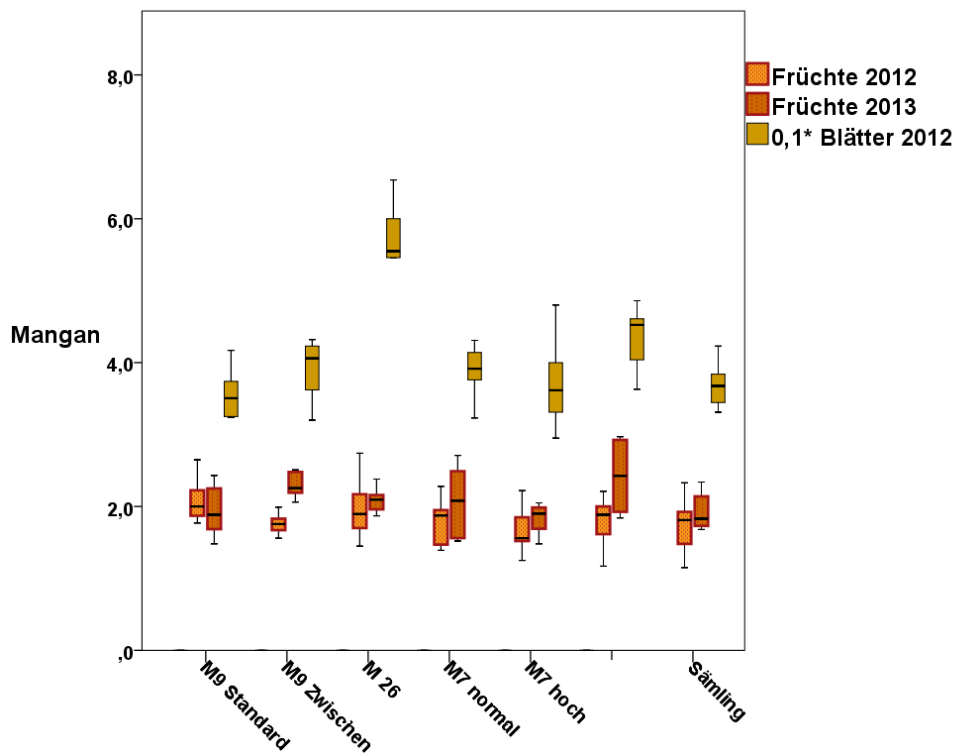


Abb. 12: Mangan (in mg/kg)

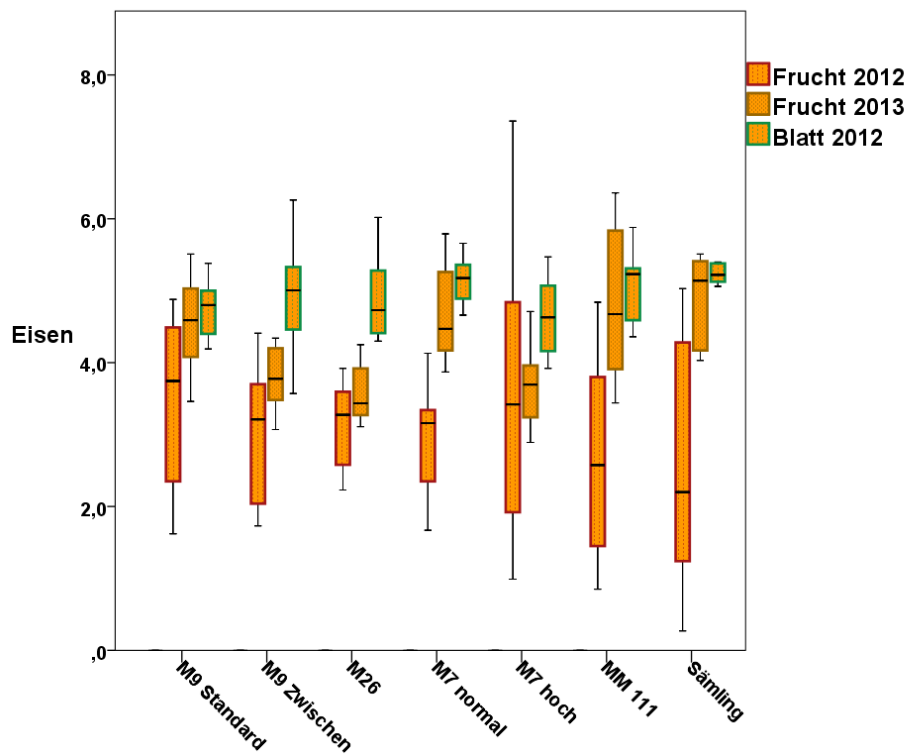


Abb. 13: Eisen (in mg/kg)

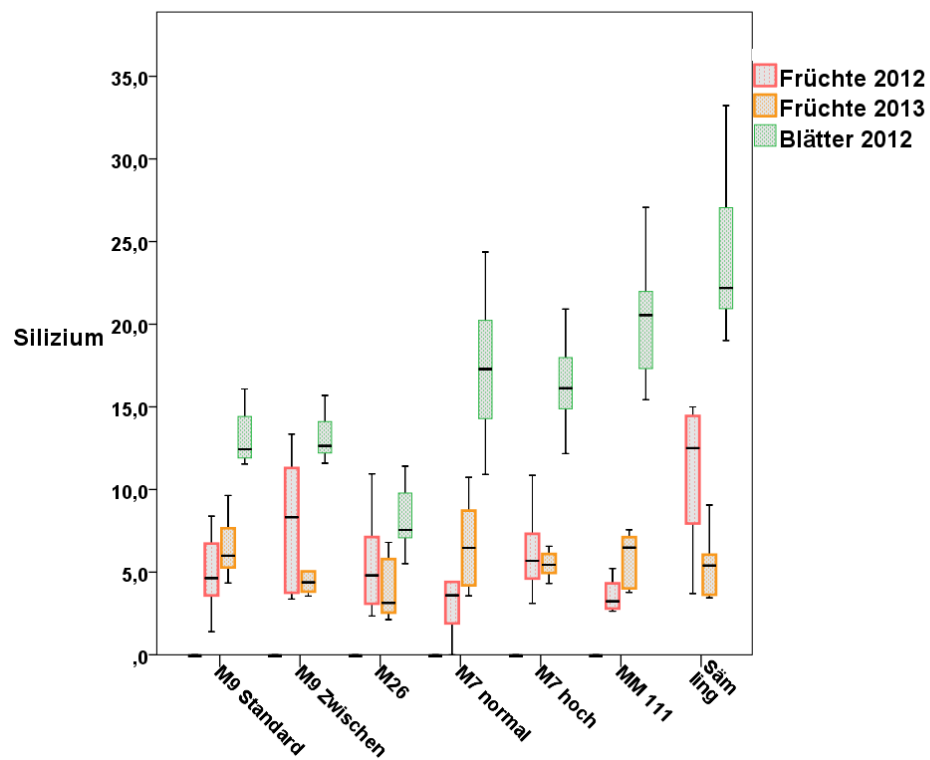


Abb. 14: Silizium (in mg/kg)

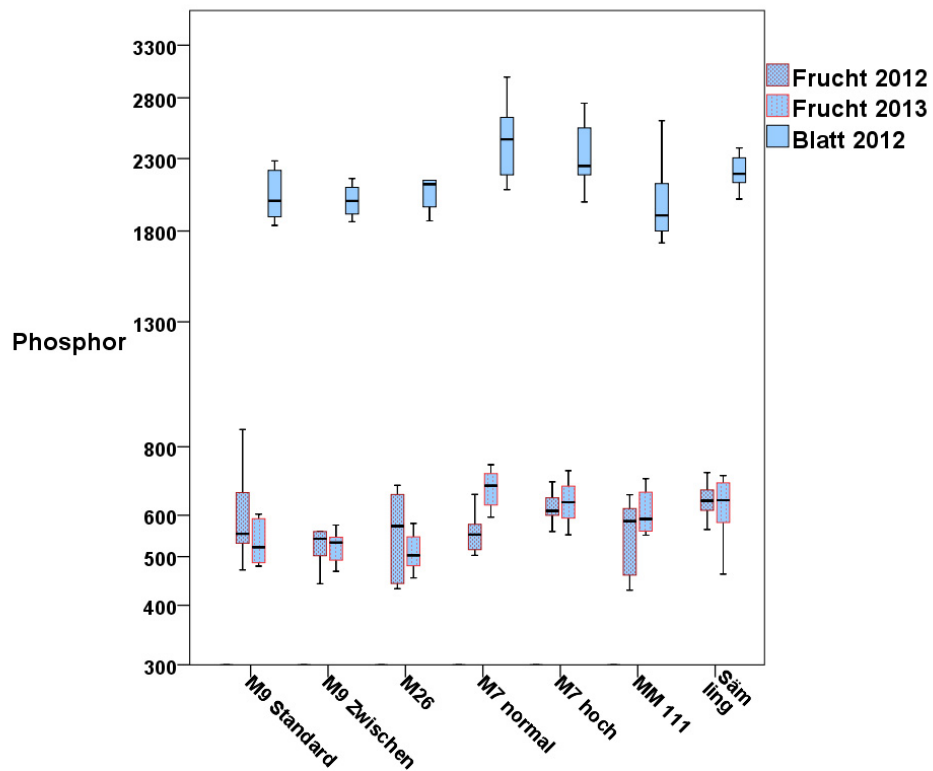


Abb. 15: Phosphor (in mg/kg)

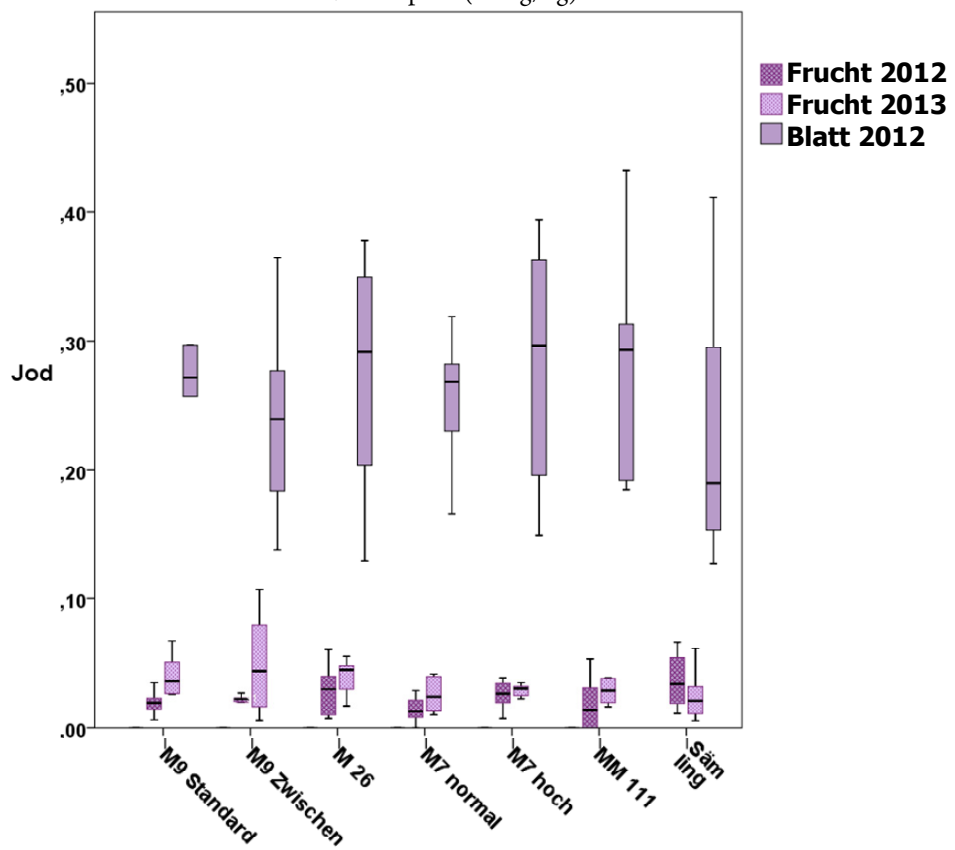


Abb. 16: Jod (in mg/kg)

Tab. 4: Gehalte im Boden in mg/kg (HAc = Analyse mittels 0,16 M Essigsäure; Ox = Analyse mittels 0,2 M Oxalatpuffer nach Essigsäure; KClO₃ = Druckaufschluss mit KClO₃/HNO₃/H₂O; Gesamt = offener Aufschluss mit HClO₄/HNO₃/HF, aufgenommen in 1+1 HCl)

Oberboden				Unterboden				
HAc	Ox	KClO ₃	Gesamt		HAc	Ox	KClO ₃	Gesamt
0,289	0,453	13,5	31,7	Li	0,288	0,399	13,9	24,0
48,9	16,7	269	11032	Na	29,8	9,39	189	10536
137	118	–	19663	K	42	53	–	17397
0,004	0,183	1,18	1,68	Be	0,003	0,123	1,17	1,59
2463	3803	16692	16523	Mg	1403	3812	16235	13334
38880	26,6	70013	65124	Ca	44155	16,8	77004	70383
56,4	0,20	130	159	Sr	48,9	0,10	148	150
29,8	15,6	138	386	Ba	15,8	6,84	109	321
2,25	1,61	10,8	–	B	1,49	1,06	9,4	–
5,0	1919	21699	59764	Al	2,5	1808	19060	51649
0,002	0,114	3,04	6,38	Sc	0,002	0,072	2,97	4,15
0,015	< 0,01	9,21	11,7	Y	0,021	< 0,01	9,06	13,4
0,032	< 0,03	11,8	22,8	La	0,038	< 0,03	11,3	9,4
< 0,1	< 0,3	20,5	39,9	Ce	< 0,1	< 0,3	19,5	14,1
0,18	20,3	710	2344	Ti	0,18	16,2	717	2382
0,058	5,15	37,1	70,6	V	0,047	3,69	38,3	63,5
0,034	1,43	36,6	53,4	Cr	0,068	1,00	36,9	53,4
88,0	131	658	769	Mn	49,4	93	460	703
0,67	1631	23923	26069	Fe	0,45	1268	19599	24930
0,087	1,42	11,5	12,5	Co	0,073	1,07	11,5	12,2
0,65	3,91	37,0	47,1	Ni	0,41	2,64	38,0	43,3
0,45	21,4	47,9	48,0	Cu	0,25	10,6	33,2	33,0
16,7	18,9	123,4	–	Zn	4,08	5,42	91,4	–
0,054	0,028	0,158	0,358	Cd	0,032	0,023	0,091	0,349
81,8	457	805	–	Si	51,8	267	871	–
0,97	0,45	77,1	–	Pb	0,42	0,18	36,4	–
36,4	536	1220	–	P	7,7	370	1004	–
0,41	2,54	–	10,11	As	0,42	2,07	–	16,72
13,1	66,1	379	–	S	17,9	52,1	292	–
		3,63	–	J			3,59	–

FRÜCHTE UND BLÄTTER ALLGEMEIN

Die Daten wurden sowohl nach Baumreihen 1 bis 5 (Tab. 5) als auch nach Unterlagen (Tab. 6) sortiert, wobei in allen 5 Reihen alle 7 Unterlagen in unterschiedlicher Reihenfolge stehen. Damit soll gezeigt werden, dass sich die Elementkonzentrationen der Proben aus den verschiedenen Reihen kaum voneinander unterscheiden. Bei etlichen Elementkonzentrationen wirken sich aber auch die unterschiedlichen Unterlagen nicht aus, oder es sind Messunsicherheit und Probeninhomogenität (Sonnenseite-Schattenseite, oben-unten) größer als die Effekte des Wurzelstock.

Für die Boxplots (Abb. 3 bis 16) wurden die Daten aus den einzelnen Aufschlusslösungen (und nicht die Mittelwerte pro Probe) herangezogen, um die analytische Unsicherheit (Messunsicherheit und Probeninhomo-

genität) mit einzubeziehen; die Unterschiede zu den Daten aus den Mittelwerten pro Probe waren aber marginal. Aus den Boxplots sowie aus den Daten der Tabellen 5 und 6 lassen sich rasch Trends ablesen, wenige Unterschiede waren jedoch signifikant. Um die Boxplots der Konzentrationen von Blättern und Früchten in die gleiche Graphik bringen zu können, wurden bei Co, Mn, Mo, Si und Zn die Konzentrationen in den Blättern mal 0,1 dargestellt. In den Tabellen 5 und 6 bedeuten kursive Elementsymbole eine Endbestimmung mit ICP-MS (Massenspektrometrie), andere mit ICP-OES (optische Emissionsspektrometrie), woraus sich unterschiedliche Größenordnungen in den erzielbaren Nachweisgrenzen ergeben. Bei jeder Serie wurden 2 Blindwerte mitgeführt, aus deren Differenz sowie zum Messwert von reinem Wasser realistische Nachweisgrenzen des Verfahrens resultieren (da die Kalibrationskurven nicht durch

den Nullpunkt gezwungen werden, gibt der Messwert der Null-Lösung an, wie genau die Kalibrationskurve diesen trifft).

Werte für B, Pb, Cd, Cr, Ni, V und die Seltenen Erden lagen zum Teil unter den jeweiligen Nachweisgrenzen, sodass wegen der geringen Analysengenauigkeit Aussagen schwer möglich sind. Andere Unterschiede sind eher Trends und selten signifikant.

KONZENTRATIONEN IN BEIDEN JAHREN GLEICH, EINFLUSS DER UNTERLAGE

Cobalt und Molybdän waren jene Elemente, bei denen die Konzentrationen in den Früchten in den beiden Jahren gleich waren und die Unterlagen Früchte und Blätter in gleicher Weise beeinflussten (Abb. 8 und 9). Cobalt erreichte ein Maximum auf M26 und ein Minimum auf M7, Molybdän ein Minimum auf M9. Die Blätter enthielten etwa zehnmals mehr als die Früchte.

Spezifischere Effekte traten auch bei Cäsium, Rubidium, Phosphor und Kalium auf. Cäsium (Abb. 5) war in den Früchten (bezogen auf Trockenmasse) etwa halb so viel wie in den Blättern enthalten (wie Kalium und Kupfer; vgl. Tab. 7). Es lag in den Blättern etwa am gleichen Niveau, in den Früchten auf M9 im Vergleich mit den anderen Unterlagen etwas tiefer.

Rubidium stieg in Früchten und Blättern mit der Wurzelmasse an, davon abweichend gab es eine möglicherweise spezifische Anreicherung in Blättern auf M7 (Abb. 4).

Phosphor war in Blättern auf M7 etwas höher als sonst, die Früchte verhielten sich aber nicht parallel dazu (Abb. 15).

Trotz des geringen Anteils an mobilem Kalium waren die Unterschiede zwischen den Unterlagen gering, eine Tendenz zu höherem Kalium in Blättern und Früchten war nur auf Sämling erkennbar (Abb. 3). Das tiefe Kalium in den Blättern auf M26 setzte sich in den Früchten nicht fort.

Silizium (Abb. 10) lag in den Apfelblättern (trotz des alkalischen Standorts) vergleichsweise tief, Gräser können über 100-mal mehr davon enthalten. Es stieg in den Blättern mit der Wurzelmasse, war in den Früchten aber etwa halb so hoch und etwa überall gleich.

FRÜCHTE IM ZWEITEN JAHR DURCHWEGS TIEFER

Einige Elementkonzentrationen waren im zweiten Jahr durchwegs geringer als im ersten Jahr. Dazu zählen Bor, Kupfer, Natrium und in geringerem Ausmaß auch Lithium und Magnesium sowie die Verhältnisse Fe/Al und P/S.

Bor (wie sonst nur Natrium und Rubidium; vgl. Tab. 6) lag in den Früchten in gleicher Größenordnung wie in den Blättern vor (Abb. 7). Während die Blätter alle etwa gleich viel enthielten, war es in den Früchten auf MM111 und Sämling etwas höher. Im zweiten Beobachtungsjahr war Bor in den Früchten generell tiefer.

Kupfer (Abb. 10) war in den Früchten (bezogen auf Trockenmasse) etwa halb so hoch wie in den Blättern (wie Kalium und Cäsium; vgl. Tab. 6 und 7) und im zweiten Jahr tiefer als im ersten; der Einfluss der Unterlage scheint gering. Auffallend mehr Kupfer enthielten die Blätter auf M7.

Natrium lag in Blättern und Früchten aus dem gleichen Jahr in der gleichen Größenordnung, in den Früchten aus dem zweiten Jahr (im Jahr der Düngung mit Biofert) durchgehend tiefer (Abb. 6).

FRÜCHTE IM ZWEITEN JAHR DURCHWEGS HÖHER

Dazu zählen die ökologisch verwandten Elemente Aluminium, Eisen, Chrom und Mangan.

Mangan (Abb. 12) ist bekanntlich in der Baumrinde angereichert und war in den Blättern etwa 20-fach höher als in den Früchten. In den Früchten war es im zweiten Jahr leicht höher. Hohes Mangan auf M26 war spezifisch auf die Blätter beschränkt.

Im zweiten Jahr höher waren zum Teil auch Schwefel (ausgenommen bei M9 ohne Zwischenveredelung) und das Verhältnis K/Rb (ausgenommen bei Sämling).

SPEZIFISCHE EFFEKTE

Abweichend zum vermuteten Wurzelwachstum der Unterlage enthielten Blätter auf M26 höhere Mangan- und Cobaltgehalte und geringere Siliziumgehalte und Blätter auf M7 höhere Phosphorgehalte. Infolgedessen wa-

ren auch die Verhältnisse Ca/Mn und Cu/Mn bei M26 niedriger. M9 war deutlich tiefer bei Mo und infolgedessen deutlich höher bei Cu/Mo oder B/Mo.

KEINE DEUTLICHEN EFFEKTE

Für eine große Anzahl von Elementkonzentrationen in Apfelfrüchten konnten keine Einflüsse der Unterlage und auch des Jahres festgestellt werden, bzw. war die analytische Unsicherheit höher als ein eventueller Einfluss. Das betrifft Ca, Sr, Ba, Mg, Zn, I, Ti, Y, La und die Seltenen Erden.

Zink wurde als Beispiel für geringe Einflüsse von Unterlage und Witterung abgebildet (Abb. 11).

Jod (Abb. 16) wurde noch selten untersucht und wurde deshalb ebenfalls bildlich dargestellt. In den Blättern lag es etwa fünfmal höher als in den Früchten, die Unterlagen wirkten sich nicht aus.

VERHÄLTNIS FRÜCHTE ZU BLÄTTERN 2012

Vergleicht man die Daten von den Früchten mit jenen der Blätter im Jahr 2012, so erhält man nur wenige Abfolgen, die einander ähneln, wie bei Co und Mo sowie dem Verhältnis B/Mo und Cu/Mo.

In Tabelle 7 sind die Konzentrationsverhältnisse der aus den Früchten und Blättern gleicher Unterlage gewonnenen jeweiligen Mittelwerte sowie der Stickstoffgehalt der Blätter dargestellt. Die Anordnung der Daten von der vermutlich schwachwüchsigsten Unterlage bis zum Sämling zeigt keine eindeutige Abhängigkeit der Konzentrationsverhältnisse Frucht/Blatt zum Wurzelwachstum sowie dem Stickstoffgehalt der Blätter. Die Stickstoffkonzentrationen in den Blättern aus den verschiedenen Unterlagen waren überlappend und zeigten keine eindeutigen Abhängigkeiten vom Verhältnis Frucht/Blatt, ausgenommen eventuell bei Fe und Al.

Auf dem vorliegenden erdalkalireichen Standort waren die Erdalkalien und Silikat im Blatt gegenüber der Frucht am meisten angereichert. Europium, welches auch zweiwertig sein kann, findet man hier beim Ca und nicht bei den übrigen Lanthaniden. Umgekehrt waren Rb, Na und B in Früchten und Blättern etwa gleichermaßen vorhanden. Ebenfalls viel höhere Gehalte im Blatt als in der Frucht fanden sich bei Mn, Al, Fe, Zn, Mg und Schwefel.

Die Verhältnisse bei den Seltenen Erden (ausgenommen Eu) bildeten eine zusammenhängende Gruppe mit Pb und Mo. Die Früchte enthielten gegenüber den Blättern relativ mehr K, Cu und P als z. B. S und Si. Interessanterweise waren die Verhältnisse bei K ähnlicher dem Cs als dem Rb.

DISKUSSION

ALLGEMEIN

Bei der Probenhomogenisierung erschien es wichtig, Kontakte des säurehaltigen Fruchtfleisches mit Mahlwerkzeugen bzw. der Haut zu vermeiden. Blanchieren in Plastik-Gefrierbeuteln erleichterte die Homogenisierung und verkürzte die zur anschließenden Gefrier-trocknung benötigte Zeit wegen der Verminderung der Gefügestabilität (ANTAL, 2013).

Bekanntlich kann es zwischen verschiedenen Apfelsorten große Unterschiede im Gehalt biochemischer und mineralischer Stoffe geben (NOUR et al., 2010), jedoch würde es den Rahmen sprengen, sowohl Sorte als auch Unterlage zu variieren.

In einigen älteren Arbeiten wurde der Einfluss der Unterlage auf die Zusammensetzung der Apfelblätter (hauptsächlich von Elementen anerkannter physiologischer Relevanz) bei gleichbleibender Sorte und am gleichen Standort untersucht. Früchte und Blütenblätter wurden nicht untersucht. Die Ergebnisse sind widersprüchlich, was auf unterschiedliche Bodencharakteristika, Wasser- und Düngungsregime beruhen könnte. Sämlingsunterlagen führen zu großkronigen, hochstämmigen landschaftsgestaltenden Obstbäumen. Die Wuchsstärke bezieht sich in erster Linie auf Stammdurchmesser, Baumhöhe und Kronendurchmesser, nicht auf die Wurzelmasse. Das Wachstum von Wurzel und Baumkrone verschiedener Unterlagen zueinander hängt von Bodencharakteristika, Wasser- und Düngungsregime ebenfalls ab. Für Niederösterreich gelten M9 als schwachwüchsig, M26, M7 und MM111 als mittelstarkwüchsig und der Sämling als starkwüchsig. In dieser Arbeit wurden die Daten nach dem für einheimische Verhältnisse vermuteten relativen Wurzelwachstum geordnet. Das Wachstum des Wurzelsystems sollte von M9 über M26 zu M7 und MM111 bis zum Sämling zunehmen (KEPPEL et al., 1998).

Tab. 5: Elementkonzentrationen (mg/kg Trockenmasse) geordnet nach den einzelnen Baumreihen des Standorts (Mittelwert und Standardabweichung aus einzelnen Aufschlusslösungen)

		Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5
Al	Frucht 2012	1,97 ± 0,77	2,41 ± 1,30	1,90 ± 0,50	1,38 ± 0,35	0,91 ± 0,35
	Frucht 2013	3,32 ± 1,34	3,12 ± 1,59	2,69 ± 0,91	3,25 ± 1,90	4,23 ± 2,78
	Blatt 2012	30,8 ± 5,6	35,7 ± 4,8	36,1 ± 5,1	28,9 ± 5,1	32,6 ± 5,1
B	Frucht 2012	28,9 ± 5,9	38,6 ± 9,9	28,4 ± 5,8	24,2 ± 2,5	30,8 ± 2,5
	Frucht 2013	22,7 ± 6,1	23,6 ± 6,7	20,1 ± 4,7	22,2 ± 6,7	26,4 ± 8,4
	Blatt 2012	31,2 ± 2,3	24,8 ± 2,3	33,2 ± 4,5	29,1 ± 4,5	33,6 ± 4,5
Ba	Frucht 2012	0,97 ± 0,32	0,92 ± 0,26	0,97 ± 0,20	1,03 ± 0,24	0,73 ± 0,24
	Frucht 2013	0,98 ± 0,37	0,89 ± 0,35	1,24 ± 0,31	1,26 ± 0,29	1,05 ± 0,21
	Blatt 2012	43,0 ± 7,1	36,8 ± 4,5	46,4 ± 9,2	45,7 ± 9,2	48,7 ± 9,2
Be	Frucht 2012	< 0,003 – 0,008	< 0,003 – 0,008	< 0,003 – 0,007	< 0,003 – 0,005	< 0,003 – 0,003
	Frucht 2013	< 0,003 – 0,006	< 0,003 – 0,005	< 0,003 – 0,007	< 0,003 – 0,007	< 0,003 – 0,004
	Blatt 2012	0,005 ± 0,002	< 0,003	< 0,003	0,002 ± 0,002	< 0,003
Ca	Frucht 2012	269 ± 62	322 ± 76	275 ± 35	263 ± 49	263 ± 49
	Frucht 2013	236 ± 35	247 ± 43	294 ± 40	280 ± 43	300 ± 45
	Blatt 2012	13245 ± 1096	11225 ± 1151	10924 ± 1209	12237 ± 1209	12824 ± 1209
Cd	Frucht 2012	< 0,001 – 0,004	< 0,001 – 0,007	< 0,001 – 0,002	< 0,001 – 0,004	< 0,001 – 0,006
	Frucht 2013	< 0,001 – 0,002	< 0,001 – 0,002	< 0,001 – 0,002	< 0,001 – 0,002	< 0,001 – 0,002
	Blatt 2012	0,010 ± 0,009	0,006 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,007 ± 0,001
Ce	Frucht 2012	0,001 – 0,039	0,004 – 0,016	0,003 – 0,016	0,001 – 0,018	0,001 – 0,020
	Frucht 2013	0,001 – 0,014	0,004 – 0,012	0,003 – 0,011	0,001 – 0,008	0,001 – 0,012
	Blatt 2012	0,048 ± 0,009	0,059 ± 0,006	0,055 ± 0,027	0,049 ± 0,027	0,061 ± 0,027
Co	Frucht 2012	0,0091 ± 0,0028	0,0137 ± 0,0065	0,0115 ± 0,0055	0,0115 ± 0,0050	0,0081 ± 0,0050
	Frucht 2013	0,0081 ± 0,0023	0,0096 ± 0,0029	0,0117 ± 0,0114	0,0090 ± 0,0023	0,0102 ± 0,0018
	Blatt 2012	0,1053 ± 0,0236	0,0969 ± 0,0130	0,1020 ± 0,0119	0,1010 ± 0,0119	0,1062 ± 0,0119
Cr	Frucht 2012	< 0,01 – 0,03	< 0,01 – 0,05	< 0,01 – 0,09	< 0,01 – 0,07	< 0,01 – 0,04
	Frucht 2013	< 0,01 – 0,04	< 0,01 – 0,08	< 0,01 – 0,08	< 0,01 – 0,03	< 0,01 – 0,04
	Blatt 2012	0,069 ± 0,088	< 0,05	0,168 ± 0,061	0,050 ± 0,061	0,082 ± 0,061
Cs	Frucht 2012	0,0096 ± 0,0043	0,0130 ± 0,0040	0,0130 ± 0,0081	0,0113 ± 0,0053	0,0097 ± 0,0053
	Frucht 2013	0,0105 ± 0,0051	0,0123 ± 0,0050	0,0097 ± 0,0026	0,0105 ± 0,0040	0,0131 ± 0,0034
	Blatt 2012	0,0172 ± 0,0036	0,0256 ± 0,0044	0,0215 ± 0,0024	0,0209 ± 0,0024	0,0203 ± 0,0024
Cu	Frucht 2012	5,01 ± 1,16	5,37 ± 1,41	5,48 ± 1,18	4,98 ± 1,37	3,58 ± 1,37
	Frucht 2013	3,75 ± 0,93	3,76 ± 1,04	3,90 ± 0,87	3,71 ± 0,96	3,81 ± 1,18
	Blatt 2012	11,71 ± 2,55	10,75 ± 1,87	11,91 ± 1,88	10,93 ± 1,88	10,04 ± 1,88
Er	Frucht 2012	< 0,0002 – 0,0010	< 0,0002 – 0,0005	< 0,0002 – 0,0006	< 0,0002 – 0,0006	< 0,0002 – 0,0008
	Frucht 2013	< 0,0002 – 0,0004	< 0,0002 – 0,0004	< 0,0002 – 0,0003	< 0,0002 – 0,0004	< 0,0002 – 0,0002
	Blatt 2012	0,0014 ± 0,0003	0,0015 ± 0,0003	0,0014 ± 0,0004	0,0013 ± 0,0004	0,0015 ± 0,0004
Eu	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0008	< 0,0001 – 0,0004	< 0,0001 – 0,0004	< 0,0001 – 0,0007	< 0,0001 – 0,0008
	Frucht 2013	< 0,0001 – 0,0004	< 0,0001 – 0,0004	< 0,0001 – 0,0003	< 0,0001 – 0,0003	< 0,0001 – 0,0006
	Blatt 2012	0,0111 ± 0,0017	0,0089 ± 0,0011	0,0085 ± 0,0011	0,0094 ± 0,0011	0,0102 ± 0,0011
Fe	Frucht 2012	3,19 ± 1,60	3,08 ± 1,54	3,37 ± 1,08	3,86 ± 1,16	2,13 ± 1,16
	Frucht 2013	4,24 ± 0,81	4,25 ± 0,83	4,28 ± 0,59	4,01 ± 1,26	4,68 ± 0,99
	Blatt 2012	48,7 ± 6,1	48,0 ± 5,0	52,3 ± 7,7	48,8 ± 7,7	47,8 ± 7,7
Gd	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0021	< 0,0001 – 0,0016	< 0,0001 – 0,0012	< 0,0001 – 0,0014	< 0,0001 – 0,0016
	Frucht 2013	0,0001 – 0,0010	0,0001 – 0,0011	< 0,0001 – 0,0008	0,0001 – 0,0007	0,0001 – 0,0024
	Blatt 2012	0,0033 ± 0,0007	0,0039 ± 0,0007	0,0035 ± 0,0020	0,0031 ± 0,0020	0,0041 ± 0,0020
Ho	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0003	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0001
	Frucht 2013	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001 – 0,0009
	Blatt 2012	0,0005 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001	0,0005 ± 0,0001
J	Frucht 2012	0,025 ± 0,014	0,031 ± 0,033	0,019 ± 0,014	0,017 ± 0,015	0,021 ± 0,015
	Frucht 2013	0,027 ± 0,015	0,037 ± 0,012	0,038 ± 0,028	0,041 ± 0,043	0,042 ± 0,013
	Blatt 2012	0,209 ± 0,066	0,191 ± 0,057	0,303 ± 0,073	0,333 ± 0,073	0,315 ± 0,073
K	Frucht 2012	4224 ± 416	4784 ± 753	4945 ± 774	4072 ± 509	4380 ± 509
	Frucht 2013	4436 ± 564	5006 ± 667	4655 ± 720	4306 ± 410	4470 ± 680
	Blatt 2012	7151 ± 1289	6590 ± 856	7305 ± 1540	7066 ± 1540	9180 ± 1540

Fortsetzung nächste Seite

Tab. 5 (Forts.): Elementkonzentrationen (mg/kg Trockenmasse) geordnet nach den einzelnen Baumreihen des Standorts (Mittelwert und Standardabweichung aus einzelnen Aufschlusslösungen)

		Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5
<i>La</i>	Frucht 2012	< 0,001 – 0,021	< 0,001 – 0,012	< 0,001 – 0,008	< 0,001 – 0,006	< 0,001 – 0,012
	Frucht 2013	< 0,001 – 0,006	< 0,001 – 0,006	< 0,001 – 0,003	< 0,001 – 0,005	< 0,001 – 0,007
	Blatt 2012	0,024 ± 0,005	0,026 ± 0,004	0,025 ± 0,013	0,022 ± 0,013	0,029 ± 0,013
<i>Li</i>	Frucht 2012	0,022 ± 0,008	0,032 ± 0,007	0,029 ± 0,010	0,023 ± 0,008	0,025 ± 0,008
	Frucht 2013	0,021 ± 0,005	0,024 ± 0,007	0,024 ± 0,006	0,024 ± 0,008	0,029 ± 0,006
	Blatt 2012	0,317 ± 0,098	0,285 ± 0,055	0,248 ± 0,075	0,309 ± 0,075	0,368 ± 0,075
<i>Lu</i>	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0005	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0001
	Frucht 2013	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001 – 0,0006
	Blatt 2012	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0000
<i>Mg</i>	Frucht 2012	289 ± 38	322 ± 41	310 ± 43	287 ± 35	283 ± 35
	Frucht 2013	254 ± 15	282 ± 20	288 ± 21	279 ± 30	276 ± 27
	Blatt 2012	3754 ± 511	3625 ± 339	3521 ± 473	3867 ± 473	3643 ± 473
<i>Mn</i>	Frucht 2012	1,75 ± 0,38	1,96 ± 0,49	1,97 ± 0,47	1,96 ± 0,20	1,65 ± 0,20
	Frucht 2013	1,78 ± 0,48	1,99 ± 0,26	2,36 ± 0,45	2,15 ± 0,55	2,03 ± 0,27
	Blatt 2012	40,6 ± 8,5	36,1 ± 4,9	43,6 ± 7,8	46,5 ± 7,8	40,8 ± 7,8
<i>Mo</i>	Frucht 2012	0,057 ± 0,020	0,084 ± 0,034	0,061 ± 0,021	0,074 ± 0,023	0,056 ± 0,023
	Frucht 2013	0,060 ± 0,020	0,066 ± 0,020	0,056 ± 0,010	0,068 ± 0,030	0,062 ± 0,007
	Blatt 2012	0,287 ± 0,072	0,298 ± 0,090	0,285 ± 0,086	0,297 ± 0,086	0,263 ± 0,086
<i>Na</i>	Frucht 2012	30,3 ± 6,2	34,2 ± 16,1	37,0 ± 12,5	36,8 ± 9,8	36,6 ± 9,8
	Frucht 2013	16,2 ± 3,1	21,1 ± 7,5	17,9 ± 4,6	18,7 ± 6,2	17,3 ± 1,4
	Blatt 2012	31,4 ± 8,1	28,9 ± 6,4	28,7 ± 9,1	37,9 ± 9,1	56,3 ± 9,1
<i>Nd</i>	Frucht 2012	0,001 – 0,017	0,001 – 0,009	0,001 – 0,007	0,001 – 0,008	0,001 – 0,010
	Frucht 2013	< 0,001 – 0,006	< 0,001 – 0,007	< 0,001 – 0,004	< 0,001 – 0,004	0,001 – 0,007
	Blatt 2012	0,0181 ± 0,0040	0,0218 ± 0,0036	0,0189 ± 0,0118	0,0185 ± 0,0118	0,0233 ± 0,0118
<i>Ni</i>	Frucht 2012	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	Frucht 2013	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
	Blatt 2012	0,35 ± 0,11	0,34 ± 0,09	0,30 ± 0,11	0,25 ± 0,11	0,34 ± 0,11
<i>P</i>	Frucht 2012	529 ± 72	661 ± 117	606 ± 90	550 ± 96	564 ± 96
	Frucht 2013	582 ± 111	599 ± 90	579 ± 69	575 ± 96	647 ± 118
	Blatt 2012	2114 ± 278	1995 ± 252	2164 ± 389	2079 ± 389	2198 ± 389
<i>Pb</i>	Frucht 2012	< 0,01 – 0,041	< 0,01 – 0,030	< 0,01 – 0,043	< 0,01 – 0,068	< 0,01 – 0,080
	Frucht 2013	< 0,01 – 0,031	< 0,01 – 0,049	< 0,01 – 0,040	< 0,01 – 0,042	< 0,01 – 0,067
	Blatt 2012	0,184 ± 0,028	0,177 ± 0,029	0,188 ± 0,033	0,161 ± 0,033	0,179 ± 0,033
<i>Pr</i>	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0049	< 0,0001 – 0,0028	< 0,0001 – 0,0017	< 0,0001 – 0,0023	< 0,0001 – 0,0017
	Frucht 2013	< 0,0001 – 0,0020	< 0,0001 – 0,0013	< 0,0001 – 0,0009	< 0,0001 – 0,0009	< 0,0001 – 0,0017
	Blatt 2012	0,005 ± 0,001	0,006 ± 0,001	0,005 ± 0,003	0,005 ± 0,003	0,006 ± 0,003
<i>Rb</i>	Frucht 2012	3,13 ± 0,69	4,39 ± 0,84	3,56 ± 0,61	3,34 ± 0,66	3,41 ± 0,66
	Frucht 2013	3,03 ± 0,84	3,78 ± 0,80	3,24 ± 0,50	3,38 ± 1,01	3,52 ± 0,64
	Blatt 2012	3,34 ± 0,55	4,41 ± 0,78	4,11 ± 0,60	3,82 ± 0,60	3,99 ± 0,60
<i>S</i>	Frucht 2012	211 ± 46	232 ± 45	211 ± 34	202 ± 28	200 ± 28
	Frucht 2013	234 ± 32	242 ± 26	223 ± 17	239 ± 30	232 ± 22
	Blatt 2012	2446 ± 168	2317 ± 170	2083 ± 382	2330 ± 382	2655 ± 382
<i>Sc</i>	Frucht 2012	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
	Frucht 2013	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
	Blatt 2012	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
<i>Si</i>	Frucht 2012	5,7 ± 2,5	6,7 ± 4,3	6,4 ± 4,3	7,6 ± 3,3	3,3 ± 3,3
	Frucht 2013	4,9 ± 1,6	5,1 ± 1,6	4,8 ± 1,1	6,4 ± 1,8	7,0 ± 3,6
	Blatt 2012	141 ± 34	139 ± 33	152 ± 48	117 ± 48	157 ± 48
<i>Sm</i>	Frucht 2012	< 0,0002 – 0,0025	< 0,0002 – 0,0016	< 0,0002 – 0,0007	< 0,0002 – 0,0014	< 0,0002 – 0,0041
	Frucht 2013	< 0,0002 – 0,0012	< 0,0002 – 0,0015	< 0,0002 – 0,0017	< 0,0002 – 0,0013	< 0,0002 – 0,0016
	Blatt 2012	0,004 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,004 ± 0,002	0,004 ± 0,002	0,005 ± 0,002
<i>Sr</i>	Frucht 2012	0,62 ± 0,21	0,67 ± 0,22	0,61 ± 0,17	0,62 ± 0,15	0,53 ± 0,15
	Frucht 2013	0,58 ± 0,13	0,63 ± 0,19	0,69 ± 0,11	0,74 ± 0,17	0,74 ± 0,11
	Blatt 2012	26,3 ± 3,4	17,2 ± 7,5	25,3 ± 4,2	26,5 ± 4,2	32,4 ± 4,2

Fortsetzung nächste Seite

Tab. 5 (Forts.): Elementkonzentrationen (mg/kg Trockenmasse) geordnet nach den einzelnen Baumreihen des Standorts (Mittelwert und Standardabweichung aus einzelnen Aufschlusslösungen)

		Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5
<i>Tb</i>	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0003	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0001	< 0,0001 – 0,0002	< 0,0001 – 0,0004
	Frucht 2013	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001 – 0,0005
	Blatt 2012	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006
<i>Ti</i>	Frucht 2012	0,054 ± 0,036	0,077 ± 0,088	0,080 ± 0,193	0,015 ± 0,091	0,014 ± 0,091
	Frucht 2013	0,054 ± 0,018	0,060 ± 0,029	0,053 ± 0,012	0,072 ± 0,016	0,093 ± 0,040
	Blatt 2012	0,89 ± 0,33	0,82 ± 0,22	1,78 ± 0,18	0,47 ± 0,18	0,46 ± 0,18
<i>Tl</i>	Frucht 2012	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Frucht 2013	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Blatt 2012	0,006 ± 0,003	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,002 ± 0,001
<i>V</i>	Frucht 2012	< 0,02 – 0,022	< 0,02 – 0,035	< 0,02 – 0,025	< 0,02	< 0,02 – 0,033
	Frucht 2013	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
	Blatt 2012	0,064 ± 0,022	0,048 ± 0,015	0,047 ± 0,004	0,061 ± 0,004	0,039 ± 0,004
<i>Y</i>	Frucht 2012	< 0,0001 – 0,0076	< 0,0001 – 0,0053	< 0,0001 – 0,0046	< 0,0001 – 0,0064	< 0,0001 – 0,0069
	Frucht 2013	0,0009 – 0,0032	0,0001 – 0,0044	0,0001 – 0,0030	0,0007 – 0,0045	0,0011 – 0,0215
	Blatt 2012	0,014 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,015 ± 0,003	0,012 ± 0,003	0,014 ± 0,003
<i>Zn</i>	Frucht 2012	1,56 ± 0,80	1,78 ± 0,77	1,92 ± 0,51	1,52 ± 0,30	1,10 ± 0,30
	Frucht 2013	1,62 ± 0,31	1,43 ± 0,26	1,85 ± 0,42	1,66 ± 0,34	1,21 ± 0,21
	Blatt 2012	19,7 ± 3,0	21,2 ± 4,0	24,9 ± 4,2	26,9 ± 4,2	25,5 ± 4,2

Da Bor und Natrium in Böden eine hohe Auswaschungsrate aufweisen, könnten deren unterschiedliche Niveaus in den beiden Beobachtungsjahren auf unterschiedlichen Niederschlagsereignissen beruhen. Wechselnde Feuchtigkeit und Redoxverhältnisse bestimmen auch die Mobilität von P, S, Fe und anderen Ionen in der Bodensäule. Nach dem Auftrocknen ist die Freisetzung von Sulfat aus der organischen Bodensubstanz stark, somit könnte die Zahl der Regenereignisse die Mobilität des Schwefels unterschiedlich erhöhen. Co und Mo spielen im Stickstoff-Metabolismus eine Rolle, welcher aber aus der vorliegenden Elementanalyse nicht weiter darstellbar ist.

Tabelle 3 enthält Gesamtgehalte sowie mehr und weniger mobile Bodenfraktionen von 0 bis 20 cm Tiefe. Die vorliegende Arbeit sollte die Frage klären, inwieweit verschieden stark wüchsige Unterlagen Einfluss auf die Gehalte einiger Elemente in den Blättern und der Frucht haben. Stärker ausgebildete Wurzelsysteme können das Vordringen in tiefere Bodenschichten ermöglichen, die vermutlich anders zusammengesetzt sind als jene 0 bis 20 cm, die mit dem Stechbohrer beprobt wurden, sodass am gleichen Standort unterschiedliche Verfügbarkeiten, insbesondere von Ionen geringer physiologischer Wechselwirkung, möglich scheinen.

Bei all jenen Elementkonzentrationen oder -verhältnissen, bei denen die Unterlage keinen erkennbaren Einfluss hat, können Unterschiede bei gleicher Sorte auf verschiedene verfügbare Fraktionen in Böden bzw. bei gleichem Boden auf verschiedene Sorten zurückgeführt werden, was Gegenstand weiterer laufender Untersuchungen ist.

BLÄTTER

Aus dem Stickstoffgehalt der Blätter (Median 2,78%; Bereich 2,43-3,17%; Boden im Median 0,232% N) kann man auf eine gute Stickstoffversorgung der Testpflanzen schließen. Der Ertrag war 2013 höher als 2012, was zum Teil durch das stärkere Baumvolumen bedingt war. Die stärkeren Unterlagen (MM111, Sämling) hatten zum Teil 2012 noch wenige Blüten, es gab 2012 auch leichte Frostschäden.

Laut den Angaben von KEPPEL et al. (1998) wären die Apfelblätter laut der Analyse der in ihnen enthaltenen Elementkonzentrationen mit P, Mg, Ca, Cu, Zn und Bor gut versorgt, hingegen mit K, Fe und Mn eher weniger. In der hier vorliegenden Studie sind sie in keinem Fall überversorgt, wobei hier Werte für Mn, Cu, Fe, Zn und B bekannt sind. Im Vergleich mit den bei EBEL et al. (2000) für eine ausreichende Versorgung angegebenen Werten waren die Blätter mit K unterversorgt (5,5 bis 10

Tab. 6: Elementkonzentrationen (mg/kg Trockenmasse) geordnet nach den einzelnen Unterlagen (Mittelwert und Standardabweichung aus einzelnen Aufschlusslösungen; F12 = Frucht 2012, F13 = Frucht 2013, B12 = Blatt 2012)

		M9 Standard	M9 Zwi	M26	M7 normal	M7 hoch	MM11	Sämling
Al	F12	1,91±0,87	1,75±0,91	1,65±0,79	1,42±0,62	1,80±1,18	1,70±1,00	1,82±0,72
	F13	3,13±1,17	2,49±0,71	2,78±1,78	5,67±1,57	2,37±0,38	3,46±1,68	2,53±0,83
	B12	33,8±5,6	32,4±6,6	32,3±7,1	32,6±6,5	32,4±5,6	35,1±8,4	34,0±5,2
B	F12	25,5±6,9	27,7±4,9	27,2±4,8	27,5±7,7	28,4±7,3	38,1±8,2	46,7±12,7
	F13	18,6±1,9	18,6±1,7	19,2±2,6	20,3±2,0	19,7±2,1	35,4±3,6	29,6±4,7
	B12	27,9±2,4	27,9±2,5	29,2±2,7	32,4±6,0	30,1±5,7	34,6±5,2	31,5±4,1
Ba	F12	0,93±0,32	0,81±0,18	1,03±0,32	1,02±0,22	0,88±0,20	0,89±0,28	0,81±0,28
	F13	1,13±0,42	1,04±0,22	0,96±0,26	1,06±0,41	0,92±0,18	1,28±0,35	1,22±0,40
	B12	44,9±11,8	42,8±10,4	42,8±12,1	41,4±8,2	44,8±9,0	41,0±11,9	46,2±8,0
Be	F12	<0,003-0,013	<0,003-0,008	<0,003-0,008	<0,003-0,005	<0,003-0,003	<0,003	<0,003-0,003
	F13	<0,003-0,006	<0,003-0,005	<0,003-0,004	<0,003-0,007	<0,003-0,006	<0,003-0,005	<0,003-0,006
	B12	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Ca	F12	279±53	275±40	289±80	308±61	257±61	255±50	255±30
	F13	297±53	263±33	249±51	274±56	243±30	290±48	267±29
	B12	12938±1370	12524±1473	11469±1341	11839±1424	12442±1113	10848±1990	12515±1557
Cd	F12	<0,001-0,006	<0,001-0,004	<0,001-0,006	<0,001-0,007	<0,001-0,004	<0,001-0,007	<0,001-0,002
	F13	<0,001-0,002	<0,001-0,001	<0,001-0,002	<0,001-0,002	<0,001-0,002	<0,001-0,002	<0,001-0,001
	B12	0,007±0,001	0,006±0,002	0,007±0,002	0,006±0,001	0,010±0,011	0,007±0,002	0,006±0,001
Ce	F12	0,001-0,031	0,001-0,025	0,001-0,019	0,001-0,024	0,001-0,024	0,001-0,018	0,001-0,030
	F13	<0,001-0,007	0,003-0,009	0,002-0,011	0,003-0,014	0,003-0,027	0,009-0,020	0,002-0,012
	B12	0,054±0,008	0,057±0,034	0,053±0,008	0,054±0,010	0,053±0,007	0,055±0,008	0,054±0,008
Co	F12	0,0105±0,0030	0,0107±0,0064	0,0151±0,0055	0,0067±0,0019	0,0080±0,0026	0,0106±0,0036	0,0134±0,0056
	F13	0,0095±0,0015	0,0137±0,0150	0,0128±0,0021	0,0068±0,0013	0,0064±0,0013	0,0100±0,0014	0,0088±0,0004
	B12	0,1006±0,0099	0,0973±0,0097	0,1262±0,0188	0,0870±0,0133	0,0881±0,0075	0,1091±0,0146	0,1096±0,0149
Cr	F12	<0,05-0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05-0,07	<0,05	<0,05
	F13	<0,05-0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	B12	0,058±0,053	0,080±0,068	0,059±0,059	0,096±0,120	0,086±0,116	0,088±0,068	0,117±0,112
Cs	F12	0,0112±0,0095	0,0079±0,0028	0,0125±0,0070	0,0112±0,0037	0,0123±0,0037	0,0103±0,0027	0,0114±0,0025
	F13	0,0070±0,0018	0,0058±0,0015	0,0103±0,0031	0,0147±0,0047	0,0144±0,0035	0,0103±0,0009	0,0128±0,0030
	B12	0,0183±0,0033	0,0183±0,0025	0,0210±0,0040	0,0230±0,0049	0,0232±0,0029	0,0240±0,0027	0,0195±0,0050
Cu	F12	5,16±1,17	4,81±1,54	4,72±1,38	5,11±1,13	5,12±1,50	4,72±1,44	3,52±1,10
	F13	3,41±0,47	3,69±0,52	3,03±0,53	5,25±0,60	4,31±0,68	3,97±0,70	2,98±0,58
	B12	10,30±1,58	10,60±2,10	9,74±1,62	13,24±2,39	12,28±1,91	10,09±2,28	11,02±1,75
Er	F12	<0,0002-0,0007	<0,0002-0,0006	<0,0002-0,0008	<0,0002-0,0010	<0,0002-0,0007	<0,0002-0,0004	<0,0002-0,0006
	F13	<0,0002-0,0003	<0,0002	<0,0002	<0,0002-0,0003	<0,0002-0,0004	<0,0002-0,0004	<0,0002-0,0004
	B12	0,0015±0,0002	0,0015±0,0004	0,0014±0,0002	0,0013±0,0002	0,0014±0,0002	0,0015±0,0004	0,0014±0,0002
Eu	F12	<0,0001-0,0005	<0,0001-0,0007	<0,0001-0,0007	<0,0001-0,0008	<0,0001-0,0008	<0,0001-0,0005	<0,0001-0,0007
	F13	<0,0001-0,0003	<0,0001-0,0002	<0,0001-0,0003	<0,0001-0,0006	<0,0001-0,0004	<0,0001-0,0004	<0,0001-0,0004
	B12	0,010±0,001	0,009±0,002	0,009±0,001	0,009±0,001	0,010±0,002	0,009±0,002	0,011±0,002
Fe	F12	3,48±1,21	3,04±0,91	2,99±0,89	3,09±1,17	3,64±2,11	2,64±1,29	2,65±1,96
	F13	4,55±0,73	3,76±0,43	3,42±0,72	4,69±0,69	3,67±0,57	4,83±1,11	4,84±0,63
	B12	47,6±7,1	46,7±7,9	48,6±8,4	51,8±5,9	46,5±6,4	50,8±7,3	51,6±5,6
Gd	F12	<0,0002-0,0021	<0,0002-0,0028	<0,0002-0,0012	<0,0002-0,0028	<0,0002-0,0016	<0,0002-0,0014	<0,0002-0,0024
	F13	0,0003-0,0005	<0,0002-0,0004	<0,0002-0,0006	0,0002-0,0010	0,0004-0,0009	0,0002-0,0014	<0,0002-0,0005
	B12	0,0036±0,0007	0,0038±0,0026	0,0035±0,0006	0,0035±0,0008	0,0036±0,0003	0,0038±0,0008	0,0036±0,0005
Ho	F12	<0,0001-0,0003	<0,0001-0,0002	<0,0001-0,0004	<0,0001-0,0003	<0,0001-0,0002	<0,0001-0,0001	<0,0001-0,0002
	F13	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001-0,0004	<0,0004-0,0006
	B12	0,0005±0,0000	0,0004±0,0002	0,0005±0,0001	0,0005±0,0001	0,0005±0,0001	0,0005±0,0001	0,0005±0,0000
J	F12	0,019±0,008	0,021±0,006	0,036±0,036	0,014±0,010	0,027±0,015	0,015±0,019	0,036±0,021
	F13	0,040±0,015	0,051±0,037	0,040±0,012	0,025±0,013	0,029±0,004	0,044±0,049	0,023±0,017
	B12	0,272±0,077	0,253±0,111	0,277±0,086	0,292±0,134	0,278±0,095	0,279±0,080	0,227±0,099
K	F12	4686±584	4784±751	4151±711	4351±518	4528±484	4096±501	5224±667
	F13	4203±714	4719±973	4327±411	4582±752	4693±497	4387±355	5055±380
	B12	7336±800	6805±1007	7214±1256	8289±1258	8081±1459	6049±994	8777±1978

Fortsetzung nächste Seite

Tab. 6 (Forts.): Elementkonzentrationen (mg/kg Trockenmasse) geordnet nach den einzelnen Unterlagen (Mittelwert und Standardabweichung aus einzelnen Aufschlusslösungen; F12 = Frucht 2012, F13 = Frucht 2013, B12 = Blatt 2012)

		M9 Standard	M9 Zwi	M26	M7 normal	M7 hoch	MM111	Sämling
La	F12	0,0005-0,012	<0,0003-0,013	<0,0003-0,044	<0,0003-0,013	<0,0003-0,013	<0,0003-0,010	<0,0003-0,015
	F13	0,0007-0,0036	0,0013-0,0027	<0,0003-0,0064	<0,0003-0,0035	<0,0003-0,0086	0,0008-0,0059	0,0007-0,0056
	B12	0,026±0,004	0,027±0,017	0,025±0,003	0,024±0,004	0,024±0,002	0,026±0,004	0,026±0,003
Li	F12	0,027±0,007	0,030±0,007	0,021±0,007	0,023±0,010	0,022±0,009	0,025±0,009	0,043±0,006
	F13	0,018±0,005	0,025±0,009	0,023±0,004	0,025±0,006	0,024±0,004	0,022±0,007	0,028±0,007
	B12	0,308±0,065	0,329±0,067	0,291±0,078	0,290±0,067	0,294±0,074	0,270±0,053	0,367±0,107
Lu	F12	<0,0001-0,0003	<0,0001-0,0001	<0,0001-0,0002	<0,0001-0,0002	<0,0001-0,0003	<0,0001-0,0001	<0,0001-0,0002
	F13	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	B12	0,0002±0,0001	0,0002±0,0000	0,0002±0,0001	0,0002±0,0000	0,0002±0,0000	0,0002±0,0001	0,0002±0,0000
Mg	F12	316±44	300±36	278±34	303±34	311±32	272±34	304±48
	F13	261±21	294±25	262±20	293±24	276±13	286±24	262±23
	B12	3837±352	3782±365	4177±311	3459±339	3520±327	3497±468	3397±396
Mn	F12	2,11±0,42	1,77±0,25	1,98±0,36	1,77±0,32	1,74±0,50	1,81±0,38	1,72±0,55
	F13	1,94±0,40	2,31±0,37	2,04±0,32	2,04±0,52	1,84±0,26	2,42±0,71	1,93±0,40
	B12	35,9±6,3	38,9±5,3	55,8±11,1	38,7±5,02	36,8±6,9	42,7±5,9	36,8±4,5
Mo	F12	0,046±0,009	0,043±0,012	0,068±0,013	0,061±0,025	0,072±0,022	0,084±0,021	0,093±0,035
	F13	0,040±0,009	0,047±0,005	0,065±0,009	0,064±0,017	0,054±0,007	0,073±0,016	0,083±0,026
	B12	0,184±0,018	0,175±0,025	0,338±0,044	0,339±0,033	0,321±0,046	0,324±0,033	0,328±0,074
Na	F12	35,8±7,4	31,6±9,6	34,0±16,2	32,3±10,7	35,0±9,8	38,4±10,4	39,0±10,7
	F13	17,1±11,0	17,9±1,8	16,0±3,4	22,0±6,7	18,2±2,3	17,7±4,1	18,9±4,8
	B12	35,5±12,7	34,7±15,6	36,2±11,6	32,8±14,8	38,7±14,3	38,2±7,6	41,1±16,5
Nd	F12	0,0009-0,0137	0,0008-0,0200	0,0003-0,0383	<0,0003-0,0171	0,0004-0,0108	<0,0003-0,0080	0,0004-0,0134
	F13	0,0016-0,0032	0,0005-0,0035	<0,0003-0,0039	<0,0003-0,0067	<0,0003-0,0060	<0,0003-0,0080	0,0004-0,0076
	B12	0,0202±0,0034	0,0220±0,0148	0,0199±0,0033	0,0194±0,0046	0,0189±0,0022	0,0214±0,0041	0,0197±0,0024
Ni	F12	<0,25-0,80	<0,25-0,76	<0,25-0,69	<0,25	<0,25	<0,25-0,38	<0,25
	F13	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25-0,28	<0,25	<0,25	<0,25
	B12	0,32±0,09	0,26±0,03	0,43±0,08	0,32±0,09	0,30±0,06	0,30±0,12	0,28±0,04
P	F12	577±102	542±89	527±95	588±119	623±72	572±106	641±78
	F13	537±74	527±54	513±82	654±73	638±80	606±84	642±87
	B12	1988±221	1939±213	2059±222	2353±323	2266±340	1982±291	2132±238
Pb	F12	<0,01-0,11	<0,01-0,04	<0,01-0,09	<0,01-0,06	<0,01-0,06	<0,01-0,04	<0,01-0,04
	F13	<0,01-0,03	<0,01-0,04	<0,01-0,02	<0,01-0,04	<0,01-0,02	<0,01-0,04	<0,01-0,04
	B12	0,179±0,019	0,175±0,036	0,202±0,038	0,164±0,019	0,173±0,019	0,181±0,035	0,172±0,014
Pr	F12	0,0003-0,0038	0,0003-0,0057	<0,0003-0,0104	<0,0003-0,0049	<0,0003-0,0029	<0,0003-0,0023	<0,0003-0,0038
	F13	<0,0003-0,0009	0,0003-0,0007	<0,0003-0,0012	<0,0003-0,0009	<0,0003-0,0020	<0,0003-0,0021	<0,0003-0,0013
	B12	0,005±0,001	0,006±0,004	0,005±0,001	0,005±0,001	0,005±0,000	0,006±0,001	0,005±0,001
Rb	F12	3,18±0,52	3,08±0,72	3,46±0,72	3,55±1,05	3,90±0,64	3,63±0,62	4,09±0,22
	F13	2,57±0,38	2,48±0,39	3,15±0,64	3,38±0,81	3,77±0,48	3,53±0,27	4,35±0,57
	B12	3,54±0,49	3,42±0,49	3,95±0,63	4,54±0,88	4,32±0,18	3,72±0,53	4,11±0,56
S	F12	230±43	203±32	203±35	205±35	208±45	208±26	213±32
	F13	229±31	237±23	229±24	242±24	223±26	233±25	240±37
	B12	2262±324	2335±471	2489±288	2373±286	2458±350	2276±134	2450±92
Sc	F12	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	F13	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
	B12	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Si	F12	5,0±2,2	7,9±3,9	5,4±3,0	4,2±3,9	6,3±2,8	3,3±2,1	10,8±4,8
	F13	6,5±1,9	4,9±1,8	4,2±1,9	6,6±2,6	5,4±0,7	5,7±1,7	5,4±1,8
	B12	123±17	122±20	85±19	150±30	155±23	170±22	212±34
Sm	F12	<0,0002-0,0031	<0,0002-0,0027	<0,0002-0,0013	<0,0002-0,0024	<0,0002-0,0025	<0,0002-0,0014	<0,0002-0,0027
	F13	<0,0002-0,0010	<0,0002-0,0006	<0,0002-0,0011	<0,0002-0,0016	<0,0002-0,0017	0,0003-0,0013	<0,0002-0,0015
	B12	0,004±0,001	0,004±0,003	0,004±0,001	0,004±0,001	0,004±0,000	0,004±0,001	0,004±0,001
Sr	F12	0,62±0,18	0,58±0,16	0,69±0,24	0,68±0,17	0,54±0,18	0,55±0,15	0,54±0,10
	F13	0,70±0,22	0,60±0,10	0,65±0,13	0,66±0,17	0,61±0,10	0,75±0,16	0,71±0,17
	B12	26,8±8,1	25,3±6,9	24,4±7,4	24,8±6,6	26,4±6,9	23,6±7,5	27,4±8,1

Fortsetzung nächste Seite

Tab. 6 (Forts.): Elementkonzentrationen (mg/kg Trockenmasse) geordnet nach den einzelnen Unterlagen (Mittelwert und Standardabweichung aus einzelnen Aufschlusslösungen; F12 = Frucht 2012, F13 = Frucht 2013, B12 = Blatt 2012)

		M9 Standard	M9 Zwi	M26	M7 normal	M7 hoch	MM111	Sämling
<i>Tb</i>	F12	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002-0,0003	<0,0002-0,0004	<0,0002	<0,0002
	F13	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002-0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002
	B12	0,0004±0,0007	0,0003-0,0007	0,0003-0,0008	0,0003-0,0006	0,0004-0,0007	0,0003-0,0007	0,0003-0,0006
<i>Ti</i>	F12	<0,06-0,085	<0,06-0,142	<0,06-0,075	<0,06-0,093	<0,06-0,101	<0,06-0,092	<0,06-0,505
	F13	0,070±0,012	0,055±0,014	0,045±0,022	0,069±0,038	0,065±0,017	0,072±0,034	0,065±0,017
	B12	0,96±0,69	0,82±0,40	0,72±0,61	0,86±0,34	0,90±0,74	1,07±0,68	0,99±0,51
<i>Tl</i>	F12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	F13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	B12	<0,001	0,004±0,002	0,0048±0,0017	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>V</i>	F12	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	F13	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	B12	0,046±0,022	0,051±0,018	0,050±0,015	0,054±0,018	0,049±0,015	0,059±0,013	0,050±0,012
<i>Y</i>	F12	0,0008-0,0055	0,0002-0,0064	0,0005-0,0120	0,0008-0,0104	0,0003-0,0059	0,0002-0,0041	0,0003-0,0100
	F13	0,0007-0,0030	0,0005-0,0016	0,0010-0,0038	0,0007-0,0045	0,0007-0,0032	0,0001-0,0028	0,0006-0,0030
	B12	0,014±0,002	0,013±0,004	0,014±0,002	0,013±0,003	0,014±0,002	0,016±0,007	0,014±0,002
<i>Zn</i>	F12	2,08±0,70	1,24±0,41	1,77±0,76	1,31±0,36	1,52±0,66	1,38±0,50	1,94±0,69
	F13	1,65±0,09	1,56±0,34	1,41±0,39	1,72±0,51	1,65±0,29	1,89±0,44	1,44±0,26
	B12	23,9±6,0	23,7±7,5	23,9±6,0	22,3±5,2	23,1±4,4	24,4±5,8	21,9±3,5

Tab. 7: Stickstoff im Blatt und Konzentrationsverhältnisse Frucht (Ernte)/Blatt (29. 5. 2012), geordnet nach den Verhältnissen bei Sämling

	% N (Blatt)	Ba	Sr	Ca	Eu	Si	Mn	Al	Fe	Zn	Mg	S
M9 Stand	2,76 ± 0,17	0,021	0,023	0,022	0,029	0,047	0,057	0,060	0,071	0,089	0,083	0,109
M9 Zwi	2,88 ± 0,18	0,019	0,023	0,022	0,097	0,068	0,045	0,054	0,063	0,055	0,079	0,087
M26	2,79 ± 0,21	0,024	0,029	0,025	0,035	0,068	0,037	0,054	0,068	0,075	0,068	0,083
M7 normal	2,80 ± 0,27	0,025	0,029	0,027	0,034	0,027	0,047	0,041	0,079	0,061	0,089	0,087
M7 hoch	2,64 ± 0,11	0,019	0,019	0,020	0,027	0,040	0,048	0,067	0,110	0,069	0,089	0,089
MM111	2,81 ± 0,28	0,022	0,023	0,024	0,025	0,015	0,042	0,048	0,056	0,060	0,077	0,092
Sämling	2,85 ± 0,21	0,017	0,018	0,020	0,025	0,045	0,046	0,051	0,066	0,081	0,089	0,090
	% N (Blatt)	Li	Co	Ce	Pb	J	La	Er	Nd	Sm	Pr	Gd
M9 Stand	2,76 ± 0,17	0,091	0,103	0,146		0,065	0,230	0,150	0,212	0,206	0,205	0,220
M9 Zwi	2,88 ± 0,18	0,084	0,110	0,317	0,140	0,082	0,327	0,403	0,300	0,226	0,327	0,249
M26	2,79 ± 0,21	0,072	0,121	0,249	0,149	0,128	0,373	0,112	0,401	0,366	0,407	0,328
M7 normal	2,80 ± 0,27	0,077	0,078	0,195	0,256	0,049	0,216	0,118	0,225	0,167	0,254	0,241
M7 hoch	2,64 ± 0,11	0,077	0,092	0,131	0,195	0,095	0,170	0,113	0,194	0,201	0,203	0,201
MM111	2,81 ± 0,28	0,092	0,101	0,064	0,142	0,047	0,125	0,035	0,019	0,021	0,022	0,112
Sämling	2,85 ± 0,21	0,118	0,122	0,145	0,160	0,161	0,180	0,181	0,194	0,207	0,211	0,212
	% N (Blatt)	Y	Mo	P	Cu	Cs	K	Rb	Na	B		
M9 Stand	2,76 ± 0,17	0,201	0,246	0,295	0,510	0,400	0,636	0,859	1,414	0,959		
M9 Zwi	2,88 ± 0,18	0,540	0,160	0,284	0,451	0,428	0,703	0,900	1,020	0,993		
M26	2,79 ± 0,21	0,191	0,198	0,267	0,521	0,542	0,603	0,909	0,861	0,963		
M7 normal	2,80 ± 0,27	0,233	0,184	0,256	0,391	0,350	0,529	0,784	1,183	0,859		
M7 hoch	2,64 ± 0,11	0,169	0,248	0,277	0,438	0,568	0,571	0,959	1,034	0,987		
MM111	2,81 ± 0,28	0,100	0,252	0,293	0,475	0,447	0,678	1,001	1,219	1,089		
Sämling	2,85 ± 0,21	0,245	0,282	0,304	0,318	0,581	0,595	0,995	1,065	1,258		

mg/g, Sollwert > 10 mg/g), hingegen bei N, P, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn und B ausreichend versorgt.

Natrium lag in den aktuellen Untersuchungen generell auf sehr tiefem Niveau. Blätter von urbanen Alleebäumen, welche der Salzstreuung im Winter ausgesetzt sind, können, abhängig von der Baumart, das 500-fache davon enthalten (FÜRST, pers. Mitteilung).

Da sich die Blattzusammensetzung graduell mit dem Alter des Blattes verändert (TAGLIAVINI et al., 1992), wurden die Blätter in diesem Versuch unmittelbar nach ihrer vollen Entwicklung beprobt. Bei unserem Versuch wurde der Einfluss der Unterlage eher bei jenen Elementen festgestellt, die in den Stoffwechsel der Pflanze eingreifen, wie K-Rb-Cs, B, Co und Mo sowie beim Silikat. Titan gehört zu den immobilsten Elementen im Boden, und die in Blättern und Früchten gefundenen Gehalte waren messbar, aber sehr gering, mit und ohne Zusatz von Flusssäure zum Aufschluss in den Apfelblättern stark unterschiedlich, aber unabhängig von der Unterlage. In der Vergangenheit erhöhte das Besprühen von Apfelpflanzen auf der Unterlage M26 mit Titanchlorid als Blattdüngung zur Erhöhung des Chlorophyllgehalts wohl den Titangehalt in Stängel und Blättern, eine Gabe in Böden (pH 3,4 bis 7,4, org. Subst. 1,7 bis 4,2 %) beeinflusste die Pflanze aber nicht (WOJCIK and WOJCIK, 2001).

M9 hat mittlere Bodenansprüche und benötigt Pfahlunterstützung. Weniger Molybdän in Blättern auf M9 könnte sich bei Mangelsituationen auf den Transfer von Nitrat von der Bodenlösung in die Wurzel auswirken. Molybdän ist ein essentieller Bestandteil der pflanzlichen Enzyme Nitrat-Reduktase, Aldehyd-Oxydase, Xanthin-Dehydrogenase und Sulfid-Oxydase. Bei Mo-Mangel kommt es in weiterer Folge zu Stickstoffmangelsymptomen. Molybdän wird nur als Molybdat-Anion aufgenommen und in der Pflanze über das Phosphattransportsystem und mit geringerer Affinität auch über das Sulfattransportsystem transportiert (MENDEL und HÄNSCH, 2002).

M26 hat geringere Bodenansprüche als M9, braucht aber ebenso Pfahlunterstützung. M26 kann offensichtlich die im alkalischen Boden weniger mobilen und physiologisch wichtigen Elemente Co, Mg und Mn leichter aufnehmen, während sich das bei den physiologisch wenig aktiven nicht auswirkt.

M7 ist gut geeignet für schwere nasse Böden und braucht Pfahlunterstützung bei Spindel-Erziehung. Ob dies durch eine erhöhte P- und Cu-Aufnahme erreicht wird, ist den Autoren derzeit unklar. Die MM-Serie wurde mit dem Ziel erhöhter Resistenz gegen die Blutlaus gezüchtet. MM111 gilt als trockenresistent und deshalb geeignet für leichte Böden (KEPPEL et al., 1998). Bei unseren K-armen Bedingungen fällt MM111 durch einen niedrigen K-Gehalt in den Blättern auf, nicht aber bei Rb und Cs.

EBEL et al. (2000) untersuchten den Einfluss von acht verschiedenen Unterlagen auf die chemische Zusammensetzung von im August gesammelten Blättern von 'Golden Delicious' in Alabama, bei 1350 mm Niederschlag und einem von pH-Wert 5,9 auf bis zu 6,5 aufgekalkten Boden. Hinsichtlich der auch bei uns verwendeten Unterlagen gelten dabei M9 und M26 als schwachwüchsig, MM111 als mittelwüchsig. Die Schwankungen in der Blattzusammensetzung zwischen den Jahren waren größer als zwischen den Unterlagen oder Veredlungsarten. Durch Düngung und Kalkung waren im Boden P, K, Ca, und Mg von Jahr zu Jahr variabel. N, P, Fe und Zn zeigten in den Blättern über sieben Beobachtungsjahre keine klaren Trends. Bei schwach- und mittelwüchsigen Unterlagen nahm das K in den Blättern von Jahr zu Jahr ab, außer bei Sämling, obwohl die Bodenanalyse genügend verfügbares K anzeigte, was auf den hohen Bedarf der Früchte zurückgeführt wurde.

Auf einem Podsol-Boden in Polen wurden die Apfelsorten 'Delikat' und 'Empire' auf neun verschiedene Unterlagen veredelt. Bei den Anfang August beprobten Blättern erhöhte Zwergwuchs die Aufnahme von N, Ca, Mg und Fe und senkte dafür K und B. Bei K wurde eine Abhängigkeit zwischen der Konzentration in den Blättern und dem Wurzelwachstum gefunden, bei Ca jedoch nicht. Wie auch in unserem Versuch zeigte sich höheres Mg auf M26, während in Polen Fe und Mn durch die Sorte, aber nicht durch die Unterlage beeinflusst wurden (KRUCZYNSKA et al., 1990).

'Golden Delicious' wurde in Venetien (Italien) auf M9, M26, M7 und MM111 auf einem kalkreichen Boden (pH-Wert 8,3, 26,7 % Kalk) veredelt. Dabei waren N, P, Mg, Fe und Zn optimal bis hoch versorgt, K, Ca und B jedoch unterversorgt. In diesem Fall variierte die Elementkonzentration von N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn und

B von Jahr zu Jahr und hing nicht vom Kronenvolumen ab. M9 zeigte hier den höchsten Ca- und M7 den tiefsten Mn-Gehalt, während bei unserem Versuch alle außer M26 etwa gleich viel Ca und Mn enthielten (PONCHIA et al., 1997).

FRÜCHTE

Es ist schon lange bekannt, dass neben der Zusammensetzung des Bodens auch Wasserhaushalt, Temperatur und Sonnenscheindauer die Ernte beeinflussen. Im Gefäßversuch mit Äpfeln der Sorte 'Mutsu' bewirkte Wassermangel bei den Unterlagen M9 und MM111 gleichermaßen verringertes Wurzelwachstum, während es sich auf die Krone bei MM111 stärker auswirkte (PSARRAS und MERWIN, 2000). Deshalb wurde der hier dargestellte Versuch in zwei Folgejahren durchgeführt, die sich klimatisch voneinander unterschieden.

Das K/Ca-Verhältnis in der Frucht sollte deutlich unter 30 liegen, bei Werten > 50 ist eine Lagerung nicht mehr möglich (KEPPEL et al., 1998). Im vorliegenden Fall beträgt dieses Verhältnis $17,0 \pm 3,7$ für 2012 $17,7 \pm 4,0$ für 2013, wobei sich die Früchte aus verschiedenen Unterlagen nicht signifikant unterscheiden.

VERHÄLTNIS BLATT/FRUCHT

Die in den Früchten gefundenen Konzentrationen lagen nur bei Bor, Natrium und Rubidium auf dem gleichen Niveau wie in den Blättern, in den meisten anderen Fällen jedoch weit darunter.

Unterschiedliche Auswirkungen der Unterlagen auf die in den Blättern gefundenen Elementkonzentrationen wurden nicht notwendigerweise in den Früchten angehtroffen und umgekehrt. Die Art der Veredlung bei M7 (normalveredelt – hochveredelt) und M9 (standardveredelt – zwischenveredelt) wirkte sich nicht aus. Ähnliche Trends in Abhängigkeit von der Unterlage ließen sich nur bei Bor, Cobalt und Molybdän beobachten, mit Einschränkungen auch bei Phosphor, Rubidium und Cäsium. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nach der normgemäßen Bodenanalyse (Tab. 1) ein Mangel an mobilem Kalium, aber eine gute Versorgung mit Erdalkalien bestand. Wird das Angebot knapper, so hat der Sämling infolge der größeren Wurzelmasse mehr

Chancen, etwas aufzunehmen und bis in die Blätter und Früchte zu transportieren.

Einige Unterlagen verhalten sich gegenüber Spurenelementen spezifisch. Höheres Mangan und Kalium, tieferes Silizium auf M26 sowie höheres Rubidium und höherer Phosphor auf M7 wirkten sich jedoch nicht auf die Früchte aus.

Von der weit verbreiteten Blattanalyse lässt sich also zu meist nicht auf die Früchte schließen.

Die verminderte Aufnahme von Cäsium in Früchten auf M9 könnte nach großflächiger Verstrahlung des Bodens nach einem Unfall in einem Atomkraftwerk bedeutsam sein.

Jod kann auch atmosphärisch eingetragen werden und ist daher in den Böden, insbesondere in meeresnahen Gebieten, aber vermutlich auch in den Blättern wesentlich höher als im Muttergestein. Die jährlich von den Ozeanen in die Atmosphäre abgegebene und folglich mit dem Niederschlag abgegebene Jodmenge wurde auf 5.108 kg geschätzt (FUGE, 1990).

LITERATUR

- ANTAL, T. 2013: Influence of pretreatments on quality and drying kinetics of freeze-dried Jonagold apple. *Acta Agronomica Óváriensis* 55(1): 36
- BAUMGARTEN, A. 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Aufl., Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2006
- CHENG, L. AND RABA, R. 2009: Nutrient requirement of Gala/M26 apple trees for high yield and quality. *New York Fruit Quarterly* 17(4): 5-10
- EBEL, R.C., CAYLOR, A.W., PITTS, J.A. AND WILKINS, B.S. 2000: Mineral nutrition during establishment of Golden delicious "Smoothie" apples on dwarfing rootstocks and interstems. *J. Plant Nutr.* 23(8): 1179-1192
- FARAGO, M.E. 1994: Plants and the chemical elements.

- Weinheim: VCH, 1994
- FUGE, R. 1990: The role of volatility in the distribution of iodine in the secondary environment. *Appl. Geochem.* 5(3): 357-360
- GREMBECKA, M. AND SZEFER, P. 2013: Comparative assessment of essential and heavy metals in fruits from different geographical origins. *Environ. Monit. Assess.* 185(11): 9139-9160
- HORNIG, R. AND PAUL, M. 2011: Rootstock-variety-combinations for juice apple production. *Erwerbsobstbau* 53(2): 59-67
- JURANOVIČ-CINDRIČ, I., KRIZMAN, I., ZEINER, M., KAMPIČ, Š., MEDUNIČ, G. AND STINGEDER, G. 2012: ICP-AES determination of minor and major elements in apples after microwave assisted digestion. *Food Chem.* 135: 2675-2680
- KEPPEL, H., PIEBER, K. UND WEISS, J. 1998: *Obstbau, Anbau und Verarbeitung*, 2. Aufl. – Graz: Stocker, 1998
- KRUCZYNSKA, D., OLSZEWSKI, T., CZYNCZYK, A. AND STASZAK, A. 1990: Preliminary results of rootstock and interstem combination on growth, yield and leaf mineral content of two apple cultivars "Delicates" and "Empire". *Acta Horticulturae* 274: 257-265
- MENDEL, R.R. AND HÄNSCH, R. 2002: Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *J. Exper. Botany* 53(375): 1689-1698
- NOUR, V., TRANDAFIR, I. AND IONICA, M. E. 2010: Compositional characteristics of fruits of several apple cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 38(3): 228-233
- PONCHIA, G., FILA, G. AND GARDIMAN, M. 1997: Effects of rootstock and interstem on growth, productivity and mineral nutrition of 'Golden Delicious' apple trees. *Acta Horticulturae* 448: 107-111
- PSARRAS, G. AND MERWIN, I.A. 2000: Water stress affects rhizosphere respiration rates and root morphology of young 'Mutsu' apple trees on M.9 and MM.111 rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* 125(5): 588-595
- RUESS, F. 2010: Intensiver Mostobstanbau. *Obst und Garten* (10): 369-371
- RUESS, F. 2012: Resistente Apfelsorten. *Obst und Garten* (1): 14-57
- SAGER, M. 2011: Microwave-assisted digestion of organic materials with $KClO_3/HNO_3$ for the analysis of trace metals and non-metals. *Analytical Chemistry – an Indian Journal* 10(2): 101-108
- SAGER, M. 2012: Einfluss von Boden, Standort und Sorte auf die Element- und Spurenelementzusammensetzung von Äpfeln. Bericht zum Projekt LF6-BO-80/001-2011 an die Landesregierung von Niederösterreich
- SOUICI, S.W., FACHMANN, W. UND KRAUT, H. 2000: *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert-Tabellen*. 6. Aufl. – Stuttgart: medpharm Sci. Publ., 2000
- TAGLIAVINI, M., SCUDELLARI, D., MARANGONI, B., BASTIANEL, A., FRANZIN, F. AND ZAMBORLINI, M. 1992: Leaf mineral composition of apple tree: sampling date and effects of cultivar and rootstock. *J. Plant Nutr.* 15(5): 605-619
- WOJCIK, P. AND WOJCIK, M. 2001: Growth and nutrition of M.26 EMLA apple rootstock as influenced by titanium fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 24(10): 1575-1588

Eingelangt am 4. März 2015