

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Abteilung Pflanzliche Erzeugung

Gustav-Kühn-Straße 8, 04159 Leipzig

Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>

Bearbeiter: Dr. Hartmut Kolbe

E-Mail: hartmut.kolbe@smul.sachsen.de

Tel.: 0341 9174-149 Fax: 0341 9174-111

Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel

IX. Mineralstoffe und Spurenelemente

1. Zusammensetzung und Bedeutung der Mineralstoffe und Spurenelemente in Kartoffeln

Kartoffeln können durch sog. "Trockenveraschung" verbrannt werden. Es bleibt ein Rest von ca. 1 % i.d. Frs. (ca. 4 - 5 % i.d. Trs.), der als Rohasche bezeichnet wird und die Summe an Mineralstoffen und Spurenelementen in oxidiert Form enthält. Bei der "Nassveraschung" werden die Elemente mit starken Säuren aufgeschlossen, anschließend können sie mit Hilfe verschiedener Methoden (Spektal- u. Flammenphotometer, Atomabsorbtion) quantitativ bestimmt werden.

Aus Tabelle 1 kann die Zusammensetzung der Mineral- und Spurenstoffe von Kartoffelknollen entnommen werden. Entsprechend ihrer Gehalte werden die Elemente in Makro- und Mikroelemente eingeteilt. Die meisten sind essentiell, d.h. sie sind für das Leben unverzichtbar als Bau- und Strukturelemente, Funktionselemente, Elektrolyte sowie Bestandteile von Enzymen. Neben einer Reihe von Elementen, deren Wirkungen bisher noch rel. unklar sind, gibt es aber auch einige unter den sog. Schwermetallen, die in der Regel als toxisch eingestuft werden. Die Höhe der Konzentration an diesen anorganischen Stoffen in den Pflanzen ist sowohl von anthropogenen Einflüssen (Erzabbaugebiet, Autobahnrand, Klärschlamm, Quecksilberbeize, Düngemittelart, etc.) als auch stark von Anbaubereich, Bodenart und anderen natürlichen Ursachen abhängig. So ist z.B. der Gehalt an Jod in Kartoffeln aus Mitteleuropa z. T. wesentlich niedriger als aus Amerika.

Mineralstoffe und Spurenelemente sind im Knollenquerschnitt nicht gleichmäßig verteilt. Wie bei anderen Kulturarten auch (z.B. Getreidekörner) befinden sich viele dieser Elemente direkt in und unter der Schale in z. T. deutlich höheren Konzentrationen als im Innern der Knollen. Daher kann die küchentechnische Aufbereitung und Verarbeitung von Kartoffeln zu deutlichen Mineralstoffverlusten und auch zu einer Abnahme an Schwermetallen führen (hohe Schwankungsbreiten):

- roh, ungeschält	= 100 %
- roh, geschält	= 80 - 85 %
- gekocht, ungeschält	= 90 - 100 %
- gekocht, geschält (Pellkartoffeln)	= 75 - 90 %
- gekocht, geschält (Salzkartoffeln)	= 60 - 80 %
- Pommes frites	≤ 70 %
- Chips	≤ 50 %.

Von den essentiellen Elementen tragen die Gehalte an Eisen, Phosphor, Magnesium, Jod, Kupfer und Zink mit 2 - 15 % in Kartoffelprodukten zum täglichen Bedarf bei. Da die Kartoffel rel. hohe Kaliumwerte sowie bei Zubereitung ohne Kochsalz über sehr geringe Natriumgehalte aufweist, wird sie wegen dieser Eigenschaften gezielt in der Diät ernährung eingesetzt. Bemerkenswert ist weiterhin der hohe Überschuss an basisch wirken Kationen (K, Mg), dies wirkt sich ernährungsphysiologisch günstig aus, da heute durch den hohen Verzehr an Fleisch- aber auch an Getreideprodukten mit der gesamten aufgenommenen Nahrung ein erheblicher Säureüberschuss vorliegt.

Tab. 1: Zusammensetzung der Mineralstoffe und Spurenelemente von Kartoffelknollen (Werte in 100 g Trs. aus vielen Untersuchungen), Funktion der Elemente bei Pflanze, Tier und Mensch (E = essentiell; T = toxisch; ? = Einstufung nicht sicher)

Element		Mittelwert		Schwankung	Bedeutung für	
					Pflanze	Tier, Mensch
Kalium	K	(mg)	2025	1234 – 3228	E	E
Phosphor	P	(mg)	226	120 – 411	E	E
Chlor	Cl	(mg)	196	87 – 520	E	E
Schwefel	S	(mg)	135	72 – 312	E	E
Magnesium	Mg	(mg)	110	63 – 140	E	E
Calcium	Ca	(mg)	40,4	16 – 90	E	E
Natrium	Na	(mg)	17,1	3,5 – 180	E(?)	E
Silicium	Si	(mg)	10,0	5,0 – 53	E(?)	E
Eisen	Fe	(mg)	3,16	1,9 – 11	E	E
Aluminium	Al	(mg)	2,75	0,78 – 21		
Zink	Zn	(mg)	1,47	1,0 – 2,5	E	E
Mangan	Mn	(mg)	0,778	0,42 – 4,0	E	E
Kupfer	Cu	(mg)	0,690	0,34 – 1,7	E	E
Brom	Br	(mg)	-	0,49 – 0,85		
Bor	B	(mg)	0,588	0,35 – 0,79	E	E
Chrom	Cr	(mg)	0,127	0,0 – 0,32		E
Selen	Se	(µg)	-	33 – 400	E(?)	E
Nickel	Ni	(µg)	45,8	18 – 114	E	E
Flour	F	(µg)	43,7	19 – 200		E
Molybdän	Mo	(µg)	27,3	23 – 419	E	E
Titan	Ti	(µg)	-	24 – 200		
Jod	J	(µg)	18,7	6,0 – 150		E
Vanadium	V	(µg)	-	4,5 – 671		E
Blei	Pb	(µg)	13,0	6,0 – 36		T
Cadmium	Cd	(µg)	10,0	3,3 – 34	T	T
Kobalt	Co	(µg)	6,21	3,6 – 7,2	E	E
Arsen	As	(µg)	5,00	3,5 – 100		E(?)
Quecksilber	Hg	(µg)	2,28	0,10 – 18		T

2. Entwicklung im Verlauf der Vegetation

In Abbildung 1 sind typische Verläufe einiger wichtiger Mineralstoffe in Blatt, Stängel und Knollen im Verlauf der Vegetation abgebildet worden. Im jungen Kartoffelkraut werden zunächst rel. hohe Konzentrationen an bestimmten Elementen festgestellt. Hierzu zählen P, K, Na, aber auch Cu, Zn und Fe. Zur Zeit der höchsten Massenbildung an Blättern und Stängeln nehmen dann die Gehalte dieser Elemente z. T. stark ab. Die Werte an P, K, sowie Zn und Na (Blätter), nehmen im Kraut schließlich bis zum Ende der Vegetation ab. Diese Elemente werden daher in verstärktem Maße aus dem Kraut in die Knollen verlagert (Abb. 1).

Andere Elemente, wie Mg, Mn, Ca und B, sind meistens nicht durch zwischenzeitlich niedrige Konzentrationen gekennzeichnet, sie nehmen (besonders in den Blättern) bis zur Ernte in ihren Konzentrationen stetig zu. Die meisten Elemente reichern sich im absterbenden Kraut immer stärker an. Sie werden daher nicht oder nur in geringem Umfang verlagert.

In den jungen Knollen (Abb. 1) werden zunächst alle aufgeführten anorganischen Stoffe in rel. hohen Konzentrationen vorgefunden. Im Verlauf der intensiven Stärkeeinlagerung nehmen die Gehalte dieser Elemente in den schnell wachsenden Knollen dann in unterschiedlichen Ausmaßen ab (Konzentrationswirkung).

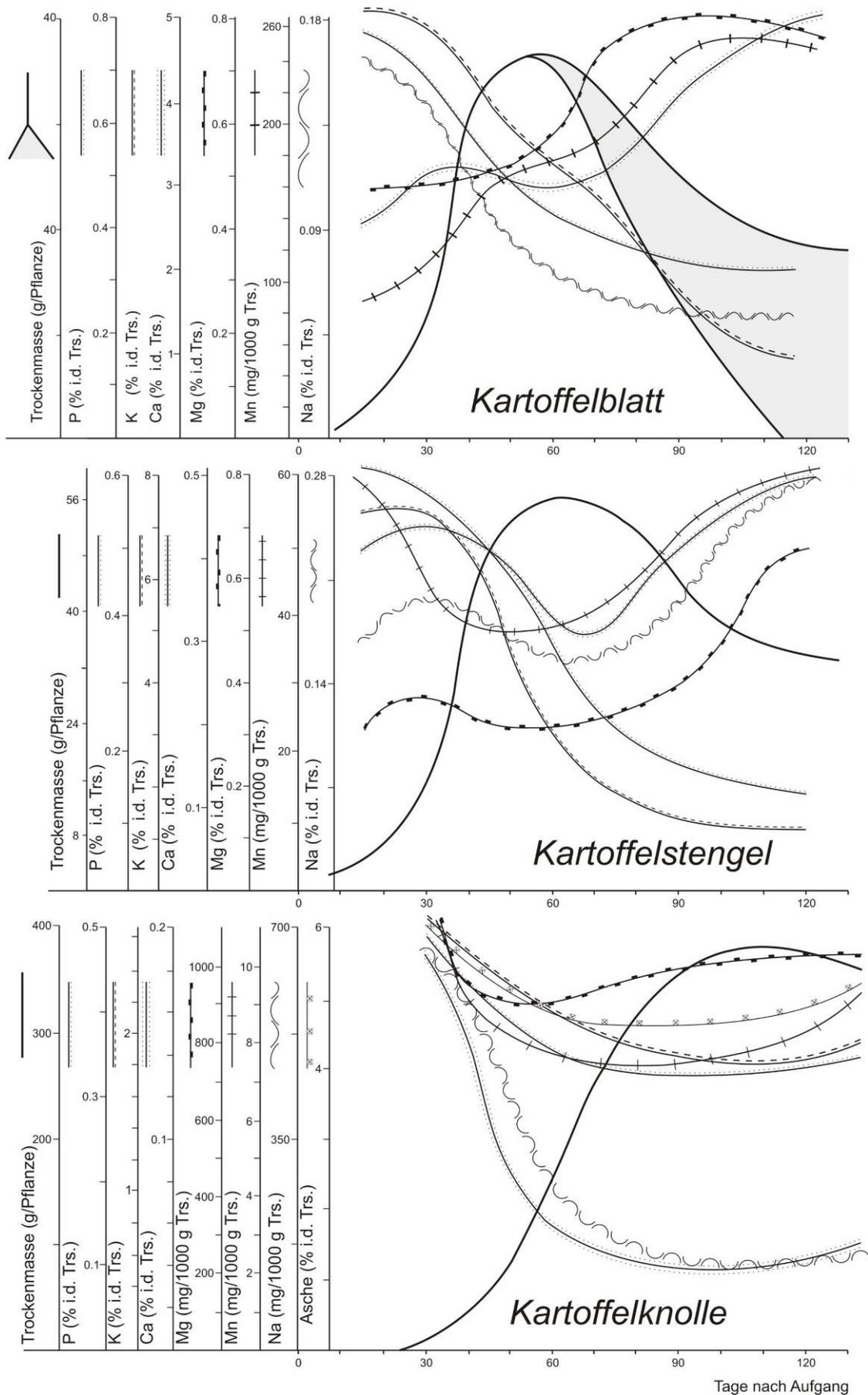


Abb. 1: Entwicklung der anorganischen Inhaltsstoffe in Blatt, Stängel und Knolle von Kartoffeln im Verlauf der Vegetation (Blattgelb schraffiert)

Aus Abbildung 2 ist zu sehen, dass die Aufnahme an Nährelementen zeitlich früher als die Ertragsbildung stattfindet. Die höchste Aufnahme an Mineral- und Spurenelementen wird in der Zeit zwischen 30 und 45 Tage nach Aufgang gemessen. Neben ca. 8 kg N können dann in etwa 1,4 kg P, 11,6 kg K, 4,2 kg Ca, 1 kg Mg, 26 g Mn und 268 g Na je Tag von einem Hektar Kartoffelbestand aufgenommen werden. Dies sind beachtliche Nährstoffmengen, die (über die Düngung) täglich vom Boden bereitgestellt werden müssen.

In der zweiten Vegetationshälfte bis zur Ernte werden nicht nur erhebliche Mengen an Nährstoffen aus dem Kraut in die Knollen verlagert. Ein Anteil von ca. 8 % geht den Pflanzen sogar wieder verloren und wird an den Boden zurückgegeben. Nur zwischen 7 - 40 % der maximal aufgenommenen Mengen an Ca, Mg, Mn und Na befinden sich z. Zt. der Ernte in den Knollen, der überwiegende Anteil dieser Elemente verbleibt daher im Kraut. Demgegenüber befinden sich z. Zt. der Ernte über 80 % an P und K (aber auch an N) in den Knollen, und lediglich Anteile um 10 % von diesen Elementen verbleiben im abgestorbenen Kraut.

3. Einfluss des Wetters

Zur Aufnahme von Nährelementen benötigen die Pflanzen Sonnenenergie. Daher nimmt mit steigender Einstrahlung die Aufnahme an anorganischen Inhaltsstoffen (und auch an N) zu. Da aber im Vergleich zur Nährstoffaufnahme in der Regel eine noch intensivere Kohlenhydratsynthese (Ertragsbildung) erfolgt, nehmen die Erträge und entzogenen Mengen an Elementen daher beträchtlich zu, die Konzentrationen an anorganischen Stoffen in den Kartoffeln verändern sich kaum und nehmen oft sogar etwas ab. Auf diesen Prozessen beruhen Beobachtungen, wonach in günstigen, einstrahlungsreichen Jahren es zu wesentlich höheren Erträgen und zu einer verbesserten Ausnutzung der Düngung kommt als in entsprechend sonnenarmen Jahr.

Da mit steigender Sonneneinstrahlung ebenfalls ein Anstieg der Temperatur verbunden ist, ist es nicht einfach, zwischen diesen beiden Einflussfaktoren zu unterscheiden. Durch viele Versuche konnte jedoch herausgefunden werden, dass bei Kartoffeln rel. kühle Temperaturen von ca. 15,5 °C bereits optimal für die Ertragsbildung sind. Daher erfolgt in unserem Klimagebiet mit steigenden Temperaturen in Richtung eines ausgesprochen warmen Jahres meistens bereits eine zunehmende Störung des Wachstums dahingehend, dass insbesondere die Einlagerung an Stärke abnimmt. Durch die verringerte Stärkeeinlagerung kommt es dann zu einem Anstieg der Konzentrationen an anorganischen Inhaltsstoffen in den Kartoffelknollen (siehe Abb. 3). In den entsprechend kühlen Klimaregionen des Nordens erfolgt dagegen bei Steigerung der Temperatur von weit unterhalb optimaler Verhältnisse in den Hauptvegetationsmonaten eine Verbesserung der Wachstumsbedingungen, so dass eine erhöhte Stärkeeinlagerung stattfindet und somit die Gehalte an Mineralstoffen bzw. an Asche abfallen können.

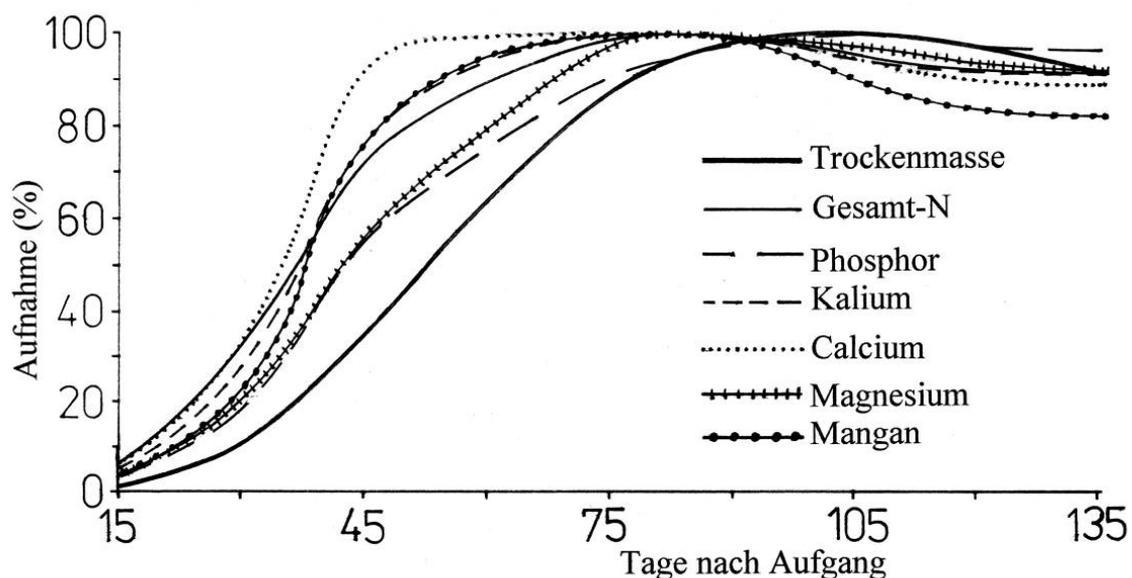


Abb. 2. Entwicklung der rel. Aufnahme an Nährstoffen im Vergleich zur Ertragsbildung von Kartoffeln

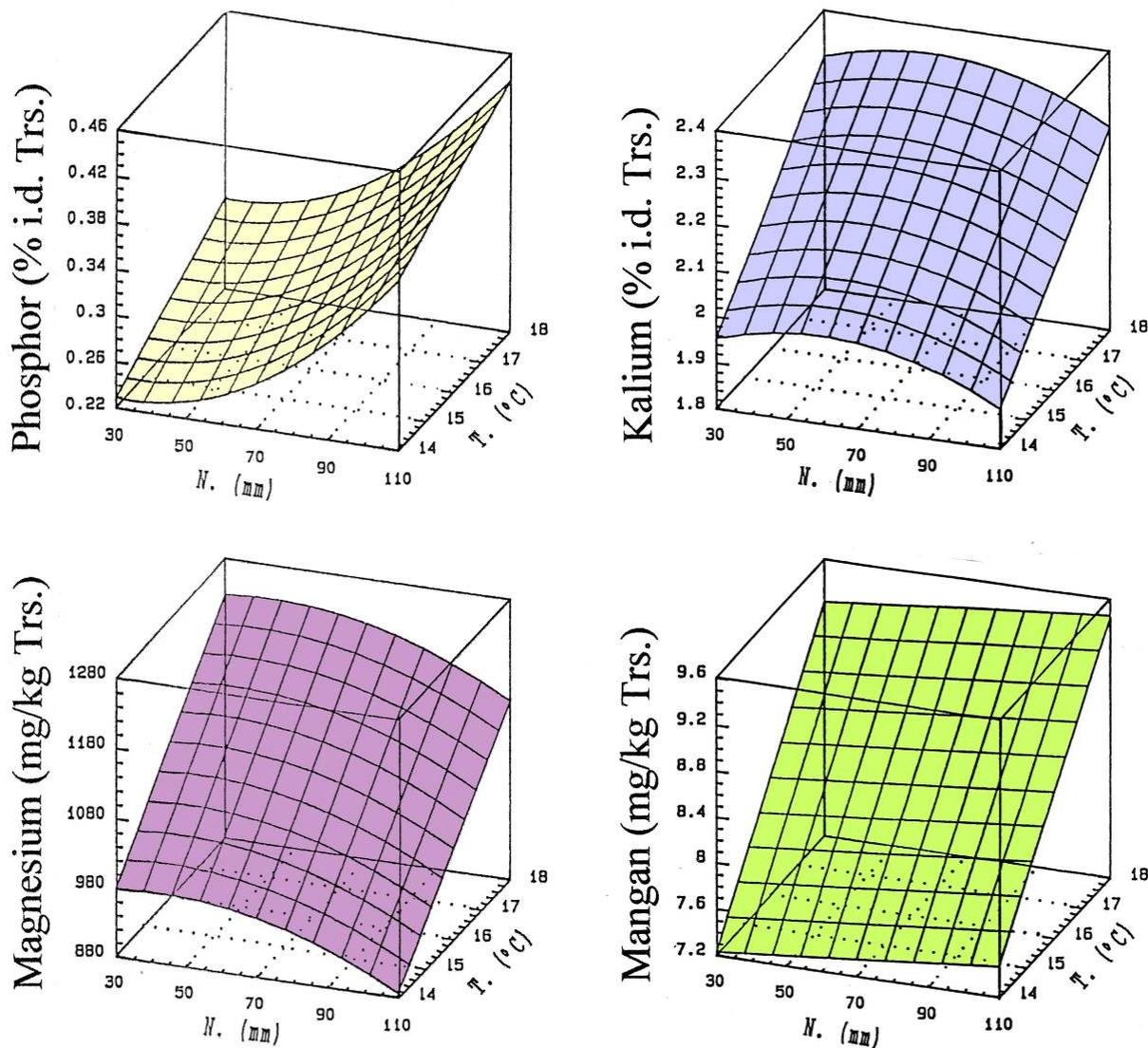


Abb. 3. Einfluss von Temperatur (T.) und Niederschläge (N.) auf die Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium und Mangan in Kartoffelknollen

Prinzipiell können ähnliche Optimalverläufe der Gehalte an einigen anorganischen Inhaltsstoffen in Kartoffeln auch infolge steigender Wasserversorgung bzw. steigenden Niederschlägen beschrieben werden (Abb. 3). Das individuelle Verhalten der Nährelemente ist aber stark abhängig von der Bodenart. Für einen tiefgründigen Lößboden könnte das wie nachfolgend beschrieben aussehen. Mit steigenden Niederschlägen (bzw. Wassergehalten) des Bodens erfolgt zunächst bis zu optimalen Werten von ca. 50 mm Niederschlag je Monat eine allgemeine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit und der Ernährungsbedingungen, so dass ein Anstieg an den meisten Elementen in den Knollen zu verzeichnen ist.

Bei weiter steigenden Niederschlägen (über das Optimum hinaus) erfolgt aufgrund weiterer Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit insbesondere für Phosphor aber auch für Mangan eine weitere Zunahme der Gehalte in den Knollen. Gleichzeitig beginnt aber auch eine stärkere Verlagerung und Auswaschung an Nährelementen. Dies betrifft zunächst weniger das Kalium, eher das Magnesium und das Calcium (und natürlich das Nitrat). Daher nehmen diese Elemente dann in den Kartoffelknollen nicht mehr zu oder fallen bereits ab (Abb. 3). Diese veränderten Ernährungsbedingungen infolge steigender Niederschläge können dann auch Auswirkungen auf Erträge und auf die Qualität der Kartoffeln haben.

4. Einfluss der Nährstoffversorgung

Düngung mit einem Nährstoff in genügender Höhe hat in der Regel auch einen Anstieg an Nährelementen in den Kartoffeln zur Folge. Bei der Blattdüngung trifft das manchmal nicht zu, weil hierbei z.B. bestimmte Nährstoffe nicht in hohem Maße verlagert werden, wie z.B. bei Magnesium. Daher führt Mg-Blattdüngung meistens zu keiner Anhebung der Mg-Gehalte in den Knollen, wohl aber in den Blättern.

Bei der anorganischen aber auch bei der organischen Düngung sind hierbei aber nicht nur die Hauptkomponenten, sondern auch die Begleitelemente von Bedeutung. So wird z.B. mit Kalkstickstoff neben dem Stickstoff auch eine Menge an Calcium dem Boden zugeführt. Mit bestimmten P-Düngemitteln werden dem Boden z.B. auch Cadmium zugeführt. Organische Düngemittel enthalten eine Vielzahl an anorganischen Komponenten.

Eine steigende Nährstoffversorgung kann aber auch auf gar nicht gedüngte Elemente Auswirkungen haben, wie aus Abbildung 4 zu entnehmen ist. Wie aus Ergebnissen entsprechender Gefäßversuche abgeleitet werden kann, führt eine steigende N-Versorgung im Allgemeinen zu einem breiten Optimalbereich für andere anorganische Elemente. Im Nährstoffversorgungsbereich der landwirtschaftlichen Praxis kommt es daher lediglich bei rel. hoher N-Düngung und einer Überversorgung mit Stickstoff zu einem Abfall der Gehalte an P und K, Mg, Mn, u.a. Elementen sowie der Werte an Asche. Dagegen nehmen die Gehalte an Ca weiterhin zu. Dies trifft in der Regel immer dann zu, wenn Stickstoff vorwiegend in Nitratform gegeben und aufgenommen wurde (Abb. 4).

Nach steigender K-Ernährung ist (besonders auf leichten Böden) in hohem Maße eine Anhebung der K-Gehalte zu beobachten, wie dies am deutlichen Anstieg der Aschegehalte zu erkennen ist. Darüber hinaus werden auch die Konzentrationen an Magnesium und Mangan erheblich angehoben, weniger deutlich an anderen Elementen in Kartoffelknollen (Abb. 4).

Dies erscheint auf den ersten Blick erstaunlich, da im Allgemeinen eine antagonistische Wirkung einer steigenden K-Versorgung auf die Aufnahme an diesen positiv geladenen Elementen (Kationen) bekannt ist. Hierbei ist bei der Kartoffel eine gewisse Sonderstellung zu beachten, da diese antagonistische Beziehung nur für die Blattmasse zutrifft. So kann z.B. eine zu hohe K-Düngung zu Mg-Mangelercheinungen an den Blättern führen. Für Kartoffelknollen bestehen dagegen immer positive Beziehungen zwischen steigender K-Versorgung und anderen Kationen, insbesondere an Magnesium. Das liegt daran, weil das Magnesium durch eine steigende K-Ernährung immer zu den Hauptaktionszentren des Wachstums wandert, wie man durch viele Versuche herausgefunden hat. Da die Knolle ab dem Zeitpunkt der Blüte als das Hauptwachstumzentrum anzusehen ist, wird Magnesium dann direkt in die Knolle befördert.

Dieser Umverlagerungsprozess geht von der jeweiligen K-Ernährung aus, wobei Wirkungen des K auf die Nährstoffdynamik des Bodens zusätzlich zu berücksichtigen sind. Eine hohe Mg-Düngung demgegenüber führt zu abfallenden Werten an K im Blattwerk und in den Knollen.

5. Schlussfolgerungen

In diesem Artikel sind Wirkungen wichtiger Einflussgrößen auf die Zusammensetzung der Mineral- und Spurenelemente von Kartoffelknollen beschrieben worden. Von den Klimafaktoren ist es vor allem die Temperatur, die durch Veränderung der Stärkegehalte indirekt auch auf die Gehalte an Mineralstoffen Einfluss ausübt. Darüber hinaus hat das Niederschlagsgeschehen auf einige Nährelemente einen erheblichen Einfluss, da unterschiedliche Wassergehalte die Nährstoffdynamik im Boden stark verändern.

Natürliche und anthropogen bedingte Kontaminationen mit Schwermetallen können sich je nach Element verschieden stark auf die Gehalte in den Knollen auswirken. Kommen diese toxischen Schwermetalle einmal in den Boden, z.B. durch Klärschlammdüngung, so können auch Kartoffeln davon belastet werden. Jeder Landwirt trägt hier eine hohe Verantwortung, wenn er aus kurzfristigen oft finanziellen Erwägungen heraus Klärschlämme zulässt und sich damit langfristig sogar Anbauverbote einhandeln kann (Qualitätsware, Umstellung auf Ökologischen Landbau). Die Belastung des Menschen mit Schwermetallen aus Kartoffelprodukten ist jedoch als rel. niedrig einzustufen.

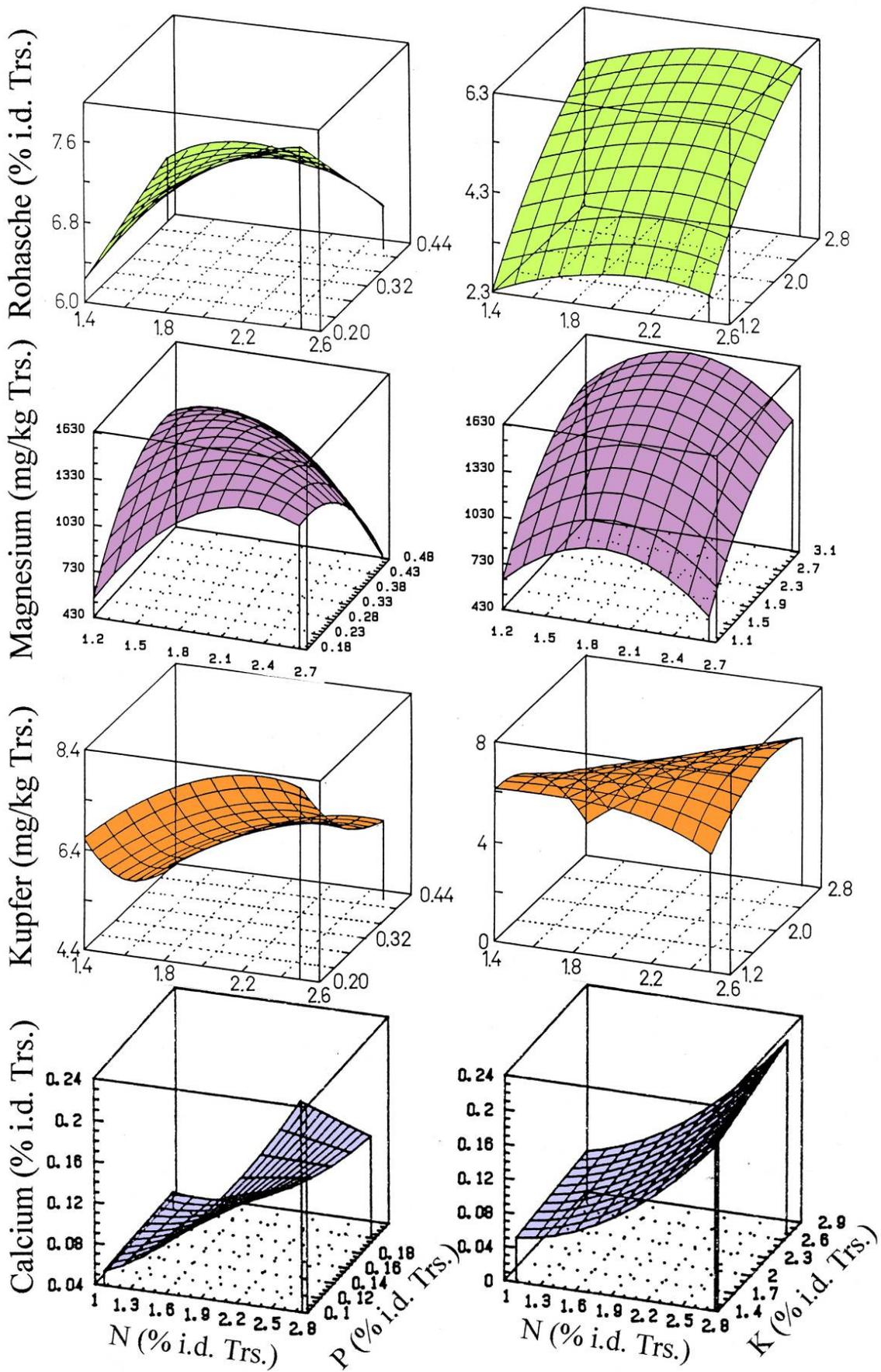


Abb. 4. Einfluss der NPK-Versorgung von Kartoffeln auf die Gehalte an Rohasche, Magnesium, Kupfer und Calcium (Gefäßversuche, praxisrelevante Bereiche: N = 1,3 - 2,0 %; P = 0,2 - 0,4 %; K = 1,5 - 2,8 % i.d. Trs.)

Alle Düngungsmaßnahmen mit den betreffenden Nährstoffen oder Begleitelementen haben Einfluss auf die Zusammensetzung der Mineralstoffe und Spurenelemente von Kartoffeln. Der direkte und indirekte Einfluss einer Düngung ist von den ausgewiesenen Faktoren mit mindestens 50 % der Variationsbreite ausschlaggebend. So hat eine starke K-Düngung nicht nur zur Folge, dass sich der K-Gehalt in der Kartoffel erhöht, sondern auch verschiedene z. T. ernährungsphysiologisch erwünschte Kationen (insbesondere Mg) in den Knollen angehoben werden. Auf der anderen Seite ist auch immer wieder berichtet worden, dass überhöhte N-Düngung zu einem Abfall wichtiger Mineralstoffe führen kann.

Eine ausgewogene Düngung ist also auch eine Garantie dafür, dass im Bereich der Mineralstoffe und Spurenelemente sich keine niedrigen und hohen Extremwerte einstellen. Unter durchschnittlichen Bedingungen wird das sicherlich für die meisten Nährelemente zutreffen. Nährstoffmangelsituationen können jedoch nicht nur bei ungeeigneten Düngungsmaßnahmen sondern auch z. B. bei extremen Wetterbedingungen und auf sehr leichten Böden häufig vorkommen (z. B. Mg). Im Verdachtsfall sollten Krautproben im Labor analysiert werden.

Wie aus Abbildung 1 bereits hervorging, sind hierbei aber genau die Vegetationsstadien zu beachten, da die Mineralstoffe sich im Kraut im Laufe der Vegetation erheblich ändern. Wird eine deutliche Unterversorgung mit bestimmten Elementen festgestellt (meistens ist es nur ein Nährstoff) so kann in der Regel mit einer Blattdüngung noch ein Ausgleich bewirkt werden. Eine Blattdüngung kann auch für Betriebe im ökologischen Landbau mit den zugelassenen Präparaten vorgenommen werden (Auskünfte erteilen die Beratungsstellen).

Eine weitere Möglichkeit besteht in der routinemäßig durchgeführten Kontrolle der Nährstoffversorgung des Bodens. Die Analysen sollten von Zeit zu Zeit auch die Mikronährstoffe umfassen. Weichen die ermittelten Werte erheblich von den empfohlenen Versorgungsbereichen ab, so sollte unabhängig vom Kartoffelanbau in der konventionellen Landwirtschaft langfristig eine Aufdüngung nach Versorgungsklasse C erfolgen. Im ökologischen Landbau sollte die Versorgungsklasse B für ausreichend angesehen werden. Bei hohen Anteilen von Gemüsearten und Kartoffeln in der Fruchtfolge kann die Düngung auch nach Versorgungsstufe C ausgerichtet werden.

Eine Düngung kann ggf. dann auch im ökologischen Landbau mit den jeweils zugelassenen Düngemitteln in Absprache mit den Anbauverbänden vorgenommen werden. Dies dürfte auf längere Sicht aber meistens nur auf leichten Böden notwendig werden. Organische Düngemittel eignen sich sehr gut, um die Versorgung mit den Nährelementen sicher zu stellen. In beiden Landwirtschaftsformen sollte darüber hinaus besonders auf einen optimalen pH-Wert (Versorgungsklasse C) geachtet werden, da die Verfügbarkeit vieler Elemente hiervon entscheidend beeinflusst wird.

Auf Grund der verschiedenen Verwertungsrichtungen im Kartoffelbau kann aber eine alleinige Ausrichtung der Düngung nach den Versorgungsklassen des Bodens oder eine reine Düngung auf Entzug nicht empfohlen werden. Das liegt daran, weil bestimmte Nährelemente, neben Stickstoff vor allem Kalium und Phosphor, wichtig sind für die Qualität des Ernteproduktes und damit oftmals entscheidend für den Verkaufserfolg. Für Blattdüngungsmaßnahmen ist daher folgendes zu beachten. Optimale K-Werte des Krautes zu Blühbeginn sollten für Speisekartoffeln zwischen 6,2 – 6,6 % betragen, für Stärkekartoffeln hingegen zwischen 5,8 – 6,1 % K i. d. Trs.

Auch die Bodendüngung mit Kalium ist entsprechend der vorgefundenen Bodenversorgung für diese beiden Verwertungsrichtungen unterschiedlich vorzunehmen, wie aus Abbildung 5 entnommen werden kann. Ein Nährstoffausgleich kann u. a. über den Gesamtentzug der Fruchtfolge unter Einbeziehung aller Kulturarten angestrebt werden.

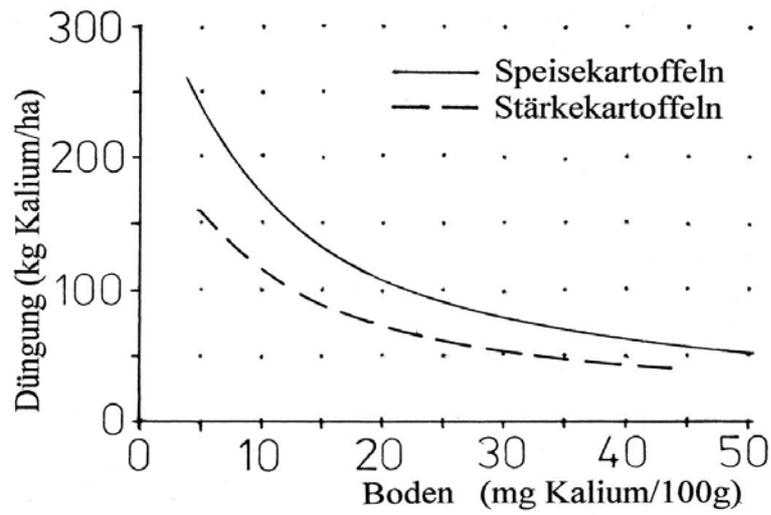


Abb. 5: Beziehungen zwischen den Bodengehalten und der Düngungshöhe an Kalium für einen optimalen Anbau von Speise- und Stärkekartoffeln in Finnland (KUISMA & HAKKOLA, 1996)