

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

III. Rohprotein

1. Zusammensetzung und Bedeutung der organischen N-Verbindungen

Da die organischen Stickstoff- oder N-Verbindungen der Kartoffeln sehr heterogen sind und sich nicht eindeutig voneinander abgrenzen lassen, können sie nach verschiedenen Kriterien gegliedert werden. Eine verbreitete Möglichkeit besteht darin, sie nach der Methodik ihrer chemisch-analytischen Bestimmung einzuteilen (Tab. 1). Man nutzt hierbei die Eigenschaft der organischen N-Verbindungen aus, dass sie sich mit verschiedenen Lösungsmitteln extrahieren lassen. Die Summe der N-haltigen Verbindungen beträgt im Durchschnitt 1,6 % N (bzw. $\times 6,25 = 10$ % Rohprotein) in der Trockensubstanz der Knollen. Sie bestehen ungefähr zu jeweils 50 % aus Reinprotein und aus den NPN-Verbindungen. Sowohl der Gesamtgehalt an Stickstoff als auch die N-Gehalte der extrahierten Fraktionen lassen sich nach Säureaufschluss mit dem seit langem bewährten KJELDAHL-Verfahren quantitativ nachweisen. Die einzelnen Bausteine der N-Verbindungen - die Aminosäuren - können mit Hilfe eines Aminosäure-Analysators bestimmt werden.

Tab. 1: Zusammensetzung, biologische Wertigkeit und Bestimmungsmethoden der organischen N-Verbindungen in Kartoffelknollen (nach KAPOOR et al., 1975; ETMAN, 1982)

N-Verbindung	Zusammensetzung (%)	Biologische Wertigkeit (Eiprotein = 100)	Löslichkeit	Bestimmungsmethoden	
Peptide, freie Aminosäuren	25	} 35 - 38	Alkohol / Wasser	Pikrinsäure-Fällung	Hydrolyse, Aminosäure-Analysator
Amide, Amine	25				
NPN-Verbindungen	50				
Albumin	28	82	Dest. Wasser	} TCE-Fällung	Hydrolyse, Aminosäure-Analysator
Globulin	10	83	Kaliumsulfat		
Prolamin	2	53	Propanol		
Glutelin	3	83	KOH/Methanol		
Rest	7	82	Unlöslich		
Reinprotein	50	80 – 83		Biuret-Verfahren	
Rohprotein	100	72 (65 – 80)		Verfahren nach KJELDAHL (N x 6,25)	

Von den ca. 20 Aminosäure-Grundbausteinen der Eiweißverbindungen der Pflanzen sind in Abbildung 1 beispielhaft Aminosäuren unterschiedlicher Komplexität abgebildet. Säureamide sind durch zwei Amino-Gruppen gekennzeichnet, sie dienen den Pflanzen auch als zwischenzeitliche N-Speicherformen. Essentielle Aminosäuren können von den Menschen und den Tieren nicht selbstständig aufgebaut werden, sie müssen daher mit der Nahrung zugeführt werden. Die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein werden in Kartoffelknollen als limitierende Aminosäuren angesehen, da sie im Eiweiß nur in vergleichsweise niedrigen Konzentrationen vorkommen.

Entsprechend der genetischen Kodierung werden die Aminosäuren bei der Eiweißsynthese in bestimmten Sequenzen aneinandergehängt. Die so entstehenden Peptide weisen eine Faltblattstruktur oder seltener eine Spiralstruktur auf, sie werden schließlich in Form von Knäueln oder Strängen als native Proteine in die pflanzlichen Zellen eingelagert. Auch das reine Protein oder Eiweiß der Kartoffelknollen besteht aus genetisch eng fixierten typischen Peptid-Untereinheiten, die nach sog. elektrophoretischer Trennung ähnlich einem Fingerabdruck ein bestimmtes Muster hinterlassen, das zur Sortendiagnose verwendet werden kann.

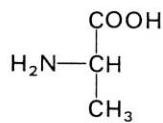
Obwohl Kartoffeln rel. geringe Gehalte an Eiweiß aufweisen, wird es durch die hohe biologische Wertigkeit geschätzt. Wenn es zusammen mit bestimmten anderen pflanzlichen Lebensmitteln verspeist wird, kann es durch seine hohe Ergänzungswertigkeit sogar die Qualität von tierischem Eiweiß erreichen. Als Vergleichsmaß dient hierzu oft die Berechnung des Indexes der essentiellen Aminosäuren (EAS-Index). Hierzu werden die Gehalte von meistens 8 essentiellen Aminosäuren im Kartoffelprotein zu denen des Eiweißes ins Verhältnis gesetzt (Eiweiß = 100). Eine weitere Messzahl der Qualität der organischen N-Verbindungen stellt der rel. Eiweißgehalt dar. Hierbei wird der Anteil an Reinprotein in Relation zum Rohprotein (= 100) gesetzt.

Auch aus Gesichtspunkten des Umweltschutzes kommt diesen Qualitätsmaßzahlen der N-haltigen Verbindungen heute wieder eine verstärkte Aufmerksamkeit zu. Bei einem angepasst hohen Eiweißgehalt und einer hohen biologischen Wertigkeit werden die mit der Nahrung von Mensch und Tier aufgenommenen N-Verbindungen in hohem Maße verwertet, so dass schließlich die mit dem Kot ausgeschiedenen N-Verbindungen nur noch gering sind.

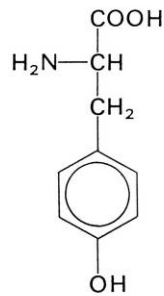
Außer der günstigen ernährungsphysiologischen Bedeutung tragen bestimmte Stickstoffverbindungen in Kartoffelknollen auch zur Geschmacks- und Aromastoffausbildung bei. Weiterhin verbessern höhere Anteile an Rohprotein im Verhältnis zur Stärke die Konsistenz der Knollen beim Kochvorgang. Einige der freien Aminosäuren, wie z.B. Lysin, verbinden sich mit reduzierenden Zuckern beim Fritierprozess zu unerwünschten braungefärbten Produkten. Als Nebenprodukte der Brennereien und bei der Stärkeherstellung fallen große Mengen an N-haltigen Abfällen (Schlempe, Pülpe) an. Diese Restprodukte können große Umwelt-Probleme bereiten, sie können aber auch als Düngemittel, Futtermittel oder sogar zur industriellen Rückgewinnung von reinen Proteinen verwendet werden.

AMINOSÄUREN

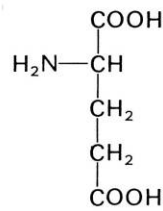
AMIDE



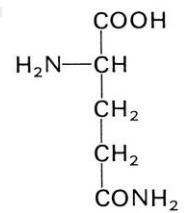
Alanin



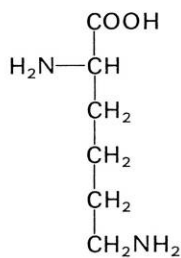
Tyrosin



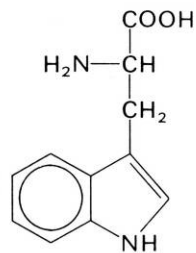
Glutaminsäure



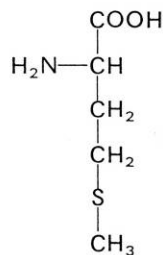
Glutamin



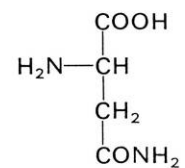
Lysin
+



Tryptophan
+



Methionin
+



Asparagin

Abb. 1: Chemischer Aufbau wichtiger Aminosäuren und Amide in Kartoffelknollen (N = Stickstoff, C = Kohlenstoff, H = Wasserstoff, O = Sauerstoff, S = Schwefel, + = essentielle Aminosäuren)

2. Entwicklung im Verlauf der Vegetation

Die Abbildung 2 zeigt den durchschnittlichen Verlauf einiger organischer N-Verbindungen in den Blättern, Stängeln und Knollen während der Vegetation. Die höchsten Gehalte werden in den jungen Pflanzen zu Beginn der Vegetation gefunden. Danach nehmen die Gehalte der N-Fractionen vor allen Dingen in den Stängeln stark ab, während die Gehalte in den Blättern, die hohe Werte an Reinprotein aufweisen, bis zum Beginn des Absterbeprozesses zwischenzeitlich auf einem mittleren Niveau verharren.

Auch in den Knollen werden im Vergleich zu den NPN-Verbindungen oft etwas höhere Werte an Reinprotein gefunden (Abb. 2). Diese Relation bleibt im Verlauf der Vegetation im Wesentlichen erhalten. Die Gehalte an allen N-Verbindungen fallen in den wachsenden Knollen zunächst ab und steigen am Ende der Vegetation oft wieder etwas an, besonders die der NPN-Verbindungen.

Zur Zeit der maximalen N-Aufnahme, ungefähr 30 - 45 Tage nach dem Aufgang, werden von den Pflanzen je Tag ca. 8 kg Stickstoff je ha aufgenommen. Davon werden täglich ca. 48 kg Rohprotein (40 kg Reinprotein, 8 kg NPN-Verbindungen) gebildet und ca. 2 kg als Nitrat eingelagert. In der zweiten Hälfte der Vegetation findet im Zuge des langsam beginnenden Absterbeprozesses in hohem Umfang eine Remobilisierung und Umverlagerung an Inhaltsstoffen in den Kartoffelpflanzen statt. Von den maximal aufgenommenen N-Verbindungen verbleiben z. Zt. der Ernte an Rohprotein ca. 75 % in den Knollen und ca. 15 % im Kraut, an Reinprotein ca. 65 % in den Knollen und 20 % im Kraut und an NPN-Verbindungen ca. 93 % in den Knollen und 6 % im Kraut. Die Reste gehen durch Blattfall und andere Prozesse, wie z.B. durch Rückführung über die Wurzeln zurück in den Boden, verloren.

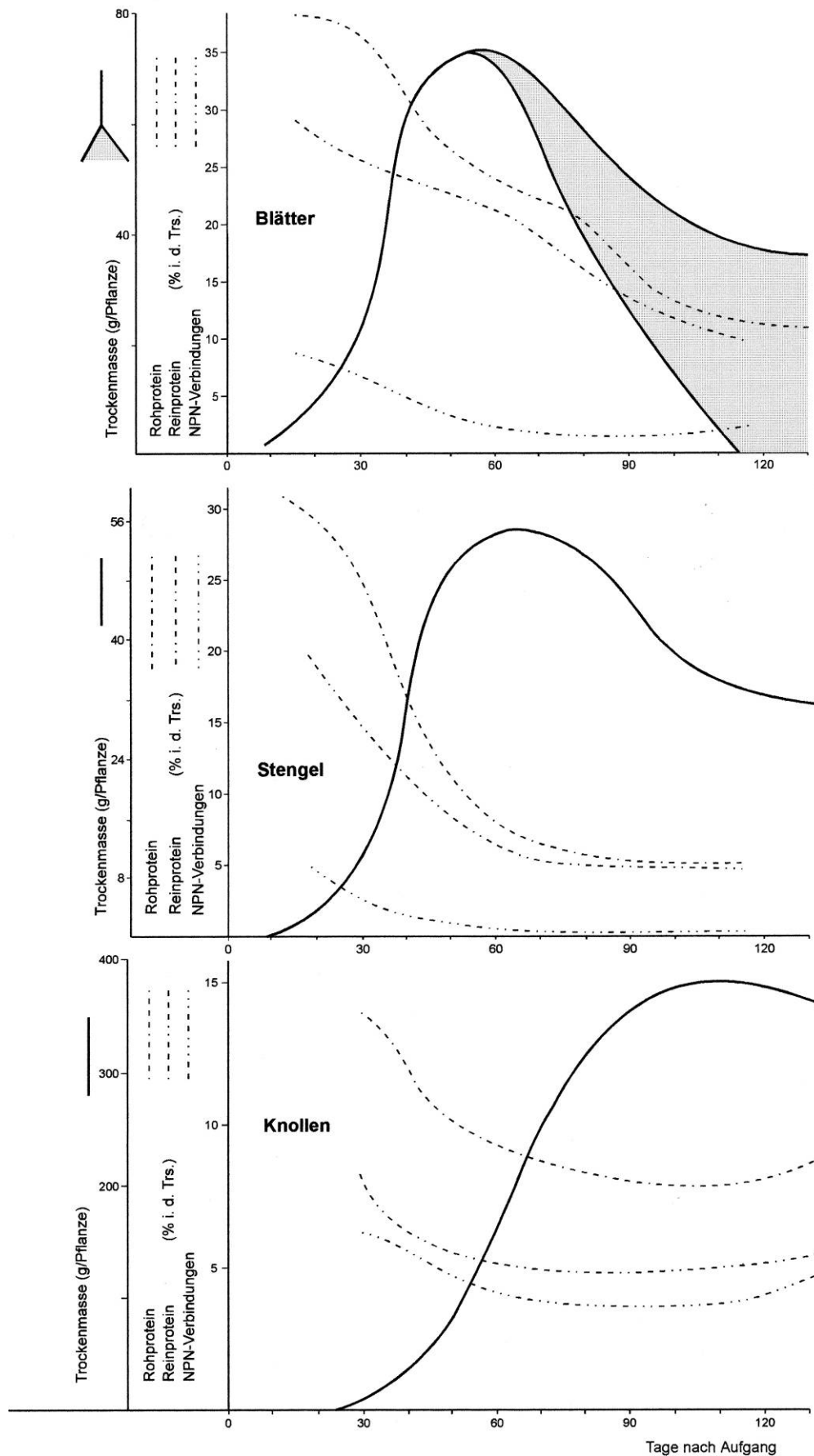


Abb. 2: Entwicklung der Trockenmasse (Blattgelbanteil = schraffiert) im Vergleich zu den Gehalten an organischen N-Verbindungen von Kartoffelblättern, -stängeln und -knollen im Verlauf der Vegetation

3. Einfluss des Wetters

Auf die verschiedenen organischen N-Verbindungen in den Kartoffelpflanzen üben die vorherrschenden Wetterbedingungen einen beachtenswerten Einfluss aus. Steigende Tagesmittel-Temperaturen (Mai - August) führen in der Regel zu einer Anhebung der Gehalte an Rohprotein und an NPN-Verbindungen in den Kartoffelknollen (Abb. 3). Extrem hohe Temperaturen können sich dagegen zunehmend depressiv auf die Nährstoffaufnahme und Bildung von Rohprotein auswirken, so dass die Gehalte an Rohprotein nicht mehr zunehmen. Dagegen werden die Gehalte an Reinprotein und die Qualität der N-Verbindungen durch steigende Temperaturen herabgesetzt. Ein Anstieg der monatlichen Sonnenscheindauer (Mai - August) führt indessen zu einer leichten Abnahme an Rohprotein und an NPN-Verbindungen, während die Werte an Reinprotein und die Eiweißqualität etwas ansteigen (Abb. 3).

Eine wesentliche Ursache für die Veränderung der Gehalte an Rohprotein ist die witterungsbedingt unterschiedliche Einlagerungskapazität an Stärke. Dadurch verhalten sich die Werte an Trockensubstanz und Stärke reziprok zu den Gehalten an Rohprotein. Die höchsten Gehalte an Rohprotein und an NPN-Verbindungen werden daher bei rel. hohen Temperaturen und niedrigen Einstrahlungswerten erzielt, also genau bei den Wetterbedingungen, die zu rel. niedrigen Stärkegehalten in den Kartoffelknollen führen. Außerdem werden bei diesen Wetterkonstellationen rel. niedrige Werte an Reinprotein und an Eiweißqualität in den Knollen vorgefunden (Abb. 3).

Steigende Niederschläge von ca. 30 - 100 mm je Monat (April - September) können die N-Verbindungen in den Kartoffeln über spezifische Änderungen in der Verfügbarkeit an Nährstoffen im Boden beeinflussen. Dies ist stark abhängig von der Bodenart. Im Durchschnitt kann davon ausgegangen werden, dass z.B. auf Lößböden die N-Verfügbarkeit ab Niederschlagswerten von über 50 mm je Monat langsam abzunehmen beginnt, weil die steigende Wassersättigung dann zu einer zunehmenden Verlagerung und Auswaschung des Stickstoffs im Boden führt. Hierdurch können sowohl die N-Versorgung der Kartoffelbestände als auch die Gehalte an Rohprotein in den Kartoffeln z.T. stark abnehmen (Abb. 4). Dies hat dann Auswirkungen auf die Knollenerträge und die Zusammensetzung der N-Verbindungen der Kartoffelknollen, die einer entsprechend differenzierten N-Ernährung vergleichbar sind.

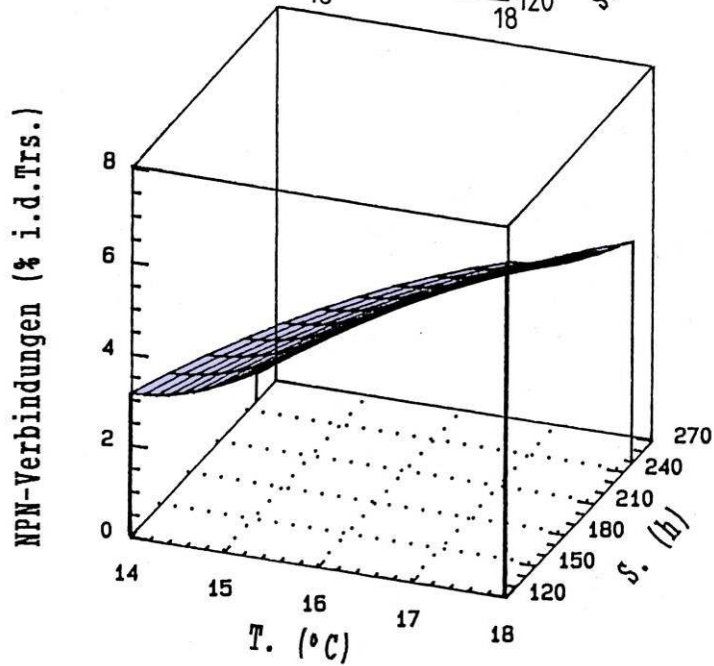
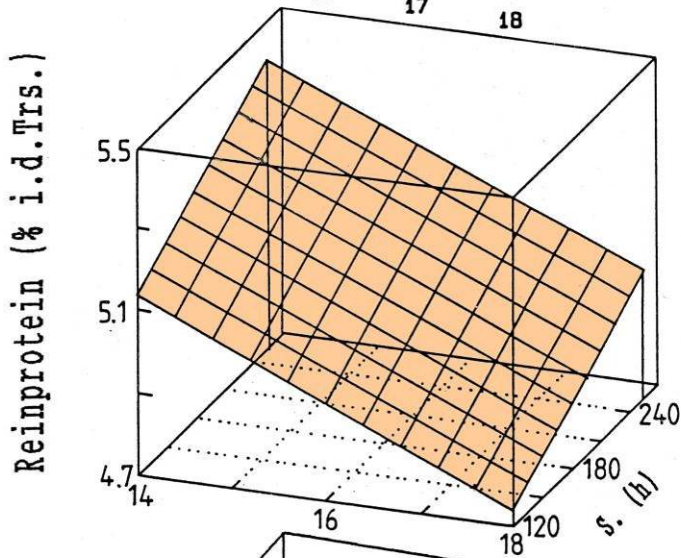
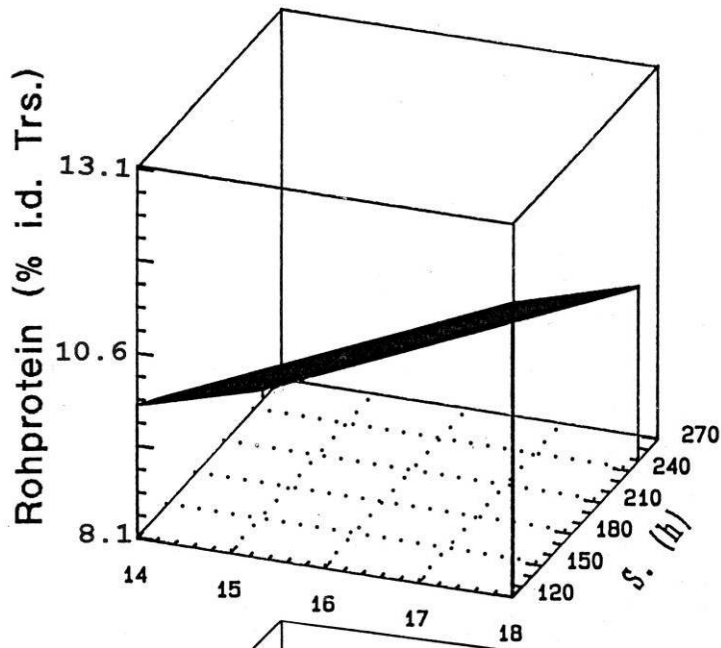


Abb. 3: Einfluss von Temperatur (T.) und Sonnenscheindauer (S.) auf die Gehalte an organischen N-Verbindungen von Kartoffelknollen

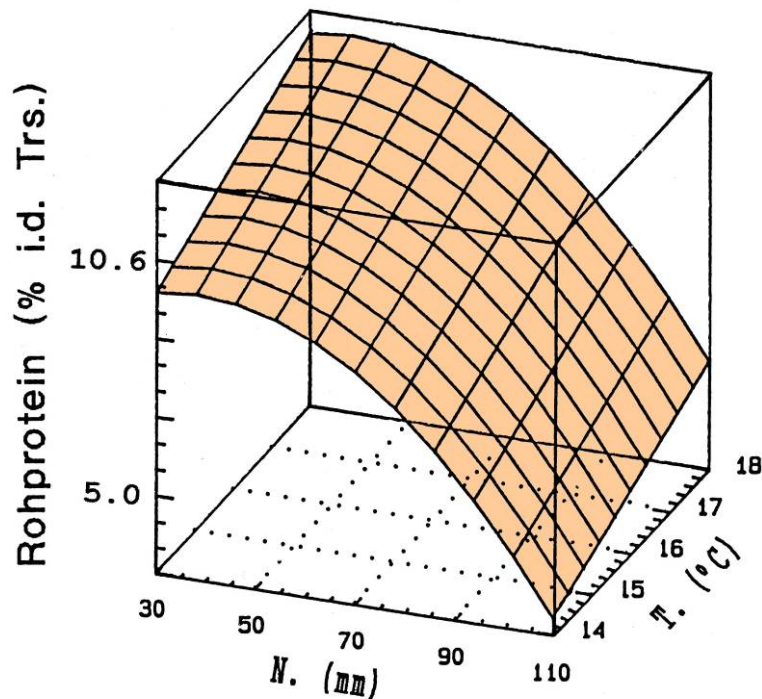


Abb. 4: Einfluss steigender Niederschläge (N.) und Temperaturen (T.) auf die Gehalte an Rohprotein in Kartoffelknollen

4. Einfluss der Nährstoffversorgung

Infolge steigender N-Ernährung der Kartoffelbestände ist sowohl mit einem Anstieg der N-Gehalte als auch mit einer spezifischen Veränderung der Zusammensetzung der organischen N-Verbindungen in den Knollen zu rechnen (Abb. 5). Zunächst kann festgestellt werden, dass ansteigende N-Gehalte z. B. von ca. 1,3 % auf 2,0 % (Praxisbereich) infolge einer entsprechenden Anhebung der N-Versorgung umgerechnet zu einer Zunahme der Gehalte an Rohprotein von 8,1 % auf 12,5 % führen würde. Bis zu diesen Rohproteinwerten ist in der Regel auch ein Anstieg sowohl der Knollenerträge als auch der geernteten Rohproteinmenge zu verzeichnen. Bei extrem hoher N-Ernährung und entsprechend weiter ansteigenden Gehalten an Rohprotein fallen die Knollenerträge dann wieder ab.

Parallel zu den ansteigenden N-Gehalten ist ein immer kleiner werdender Anstieg der Gehalte an Reinprotein zu erkennen (Abb. 5). Gleichzeitig nehmen aber die Konzentrationen an NPN-Verbindungen überproportional zu. Durch diese typische entgegengesetzte Veränderung dieser beiden organischen N-Fractionen ist daher infolge ansteigender N-Gehalte mit einer ausgeprägten Abnahme des rel. Eiweißgehaltes zu rechnen.

Erfahrungsgemäß werden die höchsten Werte in der Eiweißqualität dann ermittelt, wenn der Quotient aus Knollenertrag und Rohproteingehalten am größten ist. Dies ist in der Regel schon bei rel. niedriger Stickstoffversorgung der Fall. Mit steigender N-Ernährung kommen abnehmende Werte in der Eiweißqualität dadurch zustande, dass sich die Anteile an hochwertigen N-Verbindungen bzw. an essentiellen Aminosäuren in der Fraktion der NPN-Verbindungen verringern. Gleichzeitig werden die Anteile an NPN-Verbindungen im Verhältnis zu denen des Reinproteins deutlich erhöht. Dabei gibt es innerhalb des Reinproteins kaum Verschiebungen in der chemischen Zusammensetzung, so dass dessen hohe biologische Wertigkeit weitgehend konstant bleibt.

Eine steigende P-Versorgung (Praxisbereich: 0,2 - 0,4 % P) und eine entsprechende K-Versorgung (1,5 - 2,8 % K) führen zwar gleichfalls zu typischen Veränderungen in der Zusammensetzung der N-Komponenten, doch sind die Auswirkungen verglichen mit einer steigenden N-Versorgung nicht besonders groß (Abb. 5).

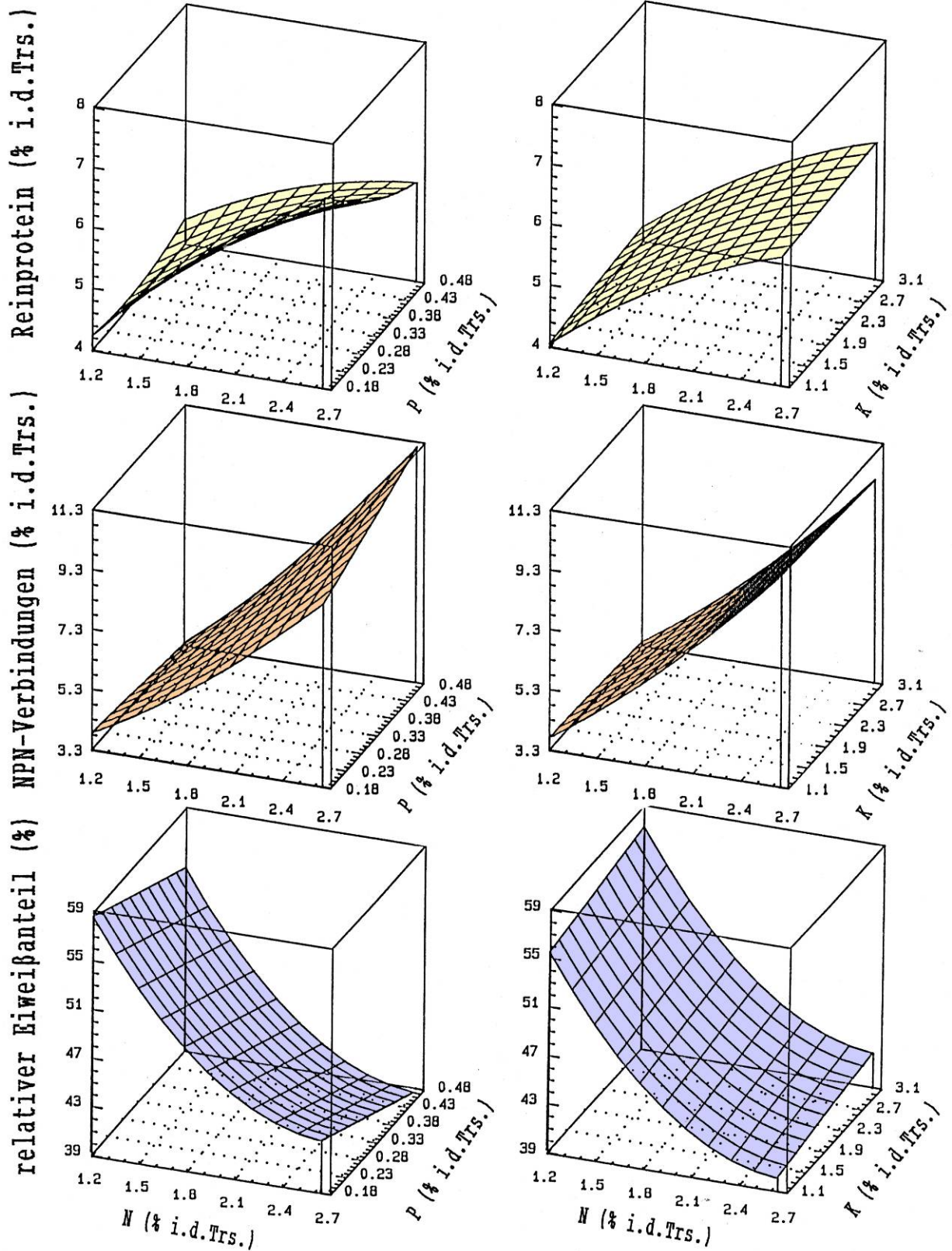


Abb. 5: Einfluss steigender NPK-Versorgung von Kartoffelknollen auf die Gehalte an Reinprotein, NPN-Verbindungen und an rel. Eiweißanteilen (Rohprotein = 100)

5. Lagerung

Die Gehalte an Rohprotein können sich im Verlauf der Lagerhaltung deutlich verändern. Einerseits trägt z. B. eine hohe negative Wasserbilanz zu einer Anhebung dieser N-Verbindungen in den Knollen bei. Andererseits steigen die Gehalte an Rohprotein auch dadurch langsam an, weil die Gehalte an Stärke abnehmen, die zur Aufrechterhaltung der Lebensprozesse veratmet wird.

Dagegen ist der Einfluss der Lagerung auf die Zusammensetzung der organischen N-Verbindungen zunächst nicht stark ausgeprägt. Dies trifft besonders für den Reinproteinanteil zu. Erst nach längerer Lagerung, im Zuge verstärkter Keimung oder besonders nach dem Auspflanzen der Knollen, kommt es zu Umschichtungen und zur Mobilisierung der N-Reserven für den Aufbau der neuen Pflanze. Die Fraktion des Reinproteins nimmt dann ab, die der NPN-Verbindungen inkl. Transportformen des Stickstoffs nehmen stark zu.

6. Schlussfolgerungen

In diesem Artikel sind die Auswirkungen der Vegetationszeit, der Witterung und der Nährstoffversorgung auf die Gehalte an organisch gebundenen N-Verbindungen in Kartoffeln beschrieben worden. Zur Gewichtung der untersuchten Einflussgrößen kann folgendes gesagt werden. Von der Witterung sind es vor allen Dingen die Temperatur und die Niederschläge, durch die die Gehalte und die Zusammensetzung des Rohproteins beeinflusst werden können. Hierbei ist zu bedenken, dass sowohl die Niederschläge als auch eine Beregnung der Kulturen über den Weg einer unterschiedlichen Wasserversorgung und Nährstoffverfügbarkeit des Bodens Einfluss ausüben.

Durch eine spezifisch ausgerichtete Düngung können Einflüsse unterschiedlicher Niederschläge ausgeglichen werden. Besonders in Gebieten mit hohen Frühsommerniederschlägen sollte daher die N-Düngung zu Kartoffeln aufgeteilt werden, damit das Risiko von N-Verlusten durch Verlagerung und Auswaschung verringert wird. Auch eine Düngung in organischer Form mit Stallmist oder der Einsatz von Nitrifikationshemmern sind hierbei günstig zu bewerten.

Von den Düngerarten hat natürlich die Stickstoffdüngung die größte Wirkung auf die Zunahme sowohl der Gehalte als auch der geernteten Menge an Rohprotein, die Werte der Proteinqualität nehmen dagegen ab. P- und K-Düngung haben demgegenüber einen vergleichsweise geringen Einfluss. Zur Erzielung hoher Gehalte an Reinprotein sollte besonders auf eine gute K-Versorgung geachtet werden.

Maßzahlen der Eiweißqualität, wie z.B. die biologische Wertigkeit oder der rel. Eiweißgehalt beginnen schon nach rel. geringer N-Düngung abzusinken, so dass bei voller Ausschöpfung des Ertragspotentials bis hin zum Ertragsmaximum im Allgemeinen immer mit einer rel. niedrigen Eiweißwertigkeit zu rechnen ist. Das liegt daran, weil nach hoher N-Düngung der im Vergleich zur Ertragsentwicklung im Überfluss aufgenommene Stickstoff vom pflanzlichen Stoffwechsel verarbeitet werden muss. Einerseits kann das in Form des Nitrats geschehen, das dann direkt von den Pflanzen gespeichert wird.

Andererseits kann der in Form des Ammoniums vorliegende Stickstoff nicht direkt gespeichert werden, weil diese N-Form in den pflanzlichen Zellen toxisch wirkt. Diese N-Form muss vom pflanzlichen Stoffwechsel erst sozusagen entgiftet werden. Eine "Entsorgung" geschieht vornehmlich durch Bildung und Einlagerung von leicht zu synthetisierenden Aminosäuren und Säureamiden. Diese N-Verbindungen sind aber gleichzeitig durch eine rel. geringe biologische Wertigkeit gekennzeichnet.

Lediglich bei extensiven Landbewirtschaftungsformen, wie z.B. dem ökologischen Landbau, ist der Input besonders an stickstoffhaltigen Düngemitteln (inkl. N-Nachlieferung durch den Boden und Leguminosenanbau) z.T. deutlich reduziert. Dadurch befindet sich die Ertragserwartung noch auf einem rel. steilen Bereich oder dem sog. linearen Bereich der Ertragskurve. Hierdurch wird dann zwar nur ein mittleres Ertragsniveau erreicht, dies hat aber den Vorteil, dass die Kartoffelkulturen z.B. die witterungsbedingten Unterschiede in der jährlichen N-Mineralisation besser ausnutzen und in Ertrag umsetzen können. Die Kartoffelproduktion ökologischer wirtschaftender Betriebe ist daher in der Regel nicht nur durch eine günstige N-Ausnutzung und eine geringe Umweltgefährdung, sondern auch durch höhere Werte in der Proteinqualität in den geernteten Kartoffelknollen charakterisiert. Lediglich bei Auftreten von starkem Insekten- oder Krankheitsbefall können diese Vorteile wieder zunichte gemacht werden.

Eine weitere Möglichkeit des Landwirts den Gehalt und die Qualität des Proteins zu beeinflussen, ist die Sortenwahl. Untersuchungen haben ergeben, dass besonders das Eiweiß als ein typisches Sortenmerkmal anzusehen ist. Daher ist sowohl eine Einteilung der Kartoffelsorten nach ihrer Düngebedürftigkeit als auch nach ihren Gehalten an Rohprotein sinnvoll. So könnten z.B. Wirtschaftssorten mit hohen Stärkegehalten und rel. niedrigem N-Speichervermögen bei der Stärkegewinnung geringere Probleme bezüglich der Entsorgung des N-haltigen Abfalls bereiten.