

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

II. Zucker

1. Zusammensetzung und Bedeutung der Zucker in Kartoffeln

Etwa 3 % der Trockensubstanz bzw. 0,6 % der Frischsubstanz von Kartoffelknollen sind Zucker. Die Gehalte unterliegen jedoch erheblichen Schwankungen, da sie von vielen pflanzeigenen Faktoren, von der Witterung und vom Boden beeinflusst werden können.

Die Zucker der Kartoffel bestehen im Wesentlichen aus den beiden Einfachzuckern Glucose (Traubenzucker) und Fructose (Fruchtzucker) sowie aus Saccharose (Rohr- oder Rübenzucker), einem zusammengesetzten Zucker (Abb. 1). Neben der Labor-Bestimmung der Einfachzucker mit "Fehling-scher Lösung" können heute alle drei Zucker mit Hilfe enzymatischer Methoden quantitativ nachgewiesen werden. Bei der enzymatischen Umwandlung der Glucose z.B. ist der Verbrauch an Reduktionsäquivalenten (NADPH) proportional dem Gehalt an Glucose.

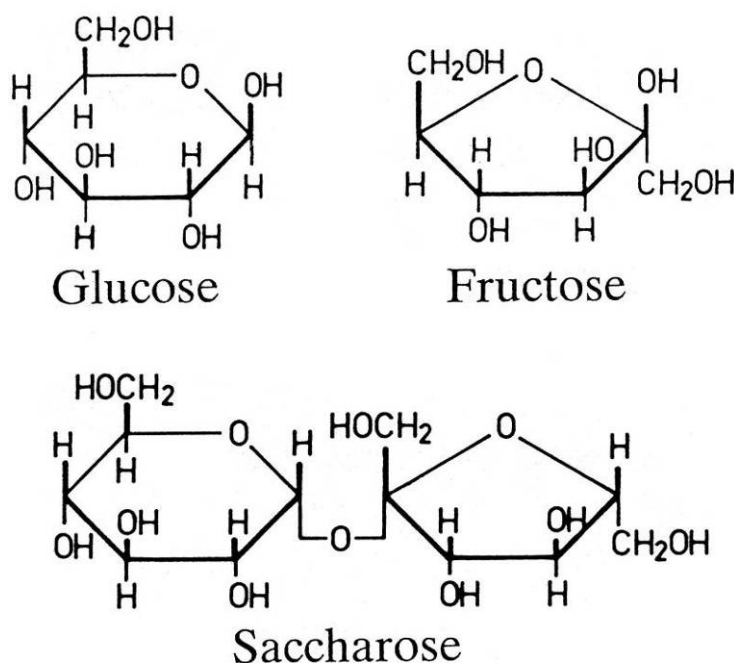


Abb. 1: Chemische Struktur der Hauptzucker der Kartoffeln (C = Kohlenstoff, H = Wasserstoff, O = Sauerstoff)

Zucker sind in Kartoffeln als Stoffwechselprodukte anzusehen. Sie dienen den Pflanzen als Energiequelle und -träger, die Transportform ist die Saccharose. Die Gehalte an Saccharose können in den Knollen einer Staude durchschnittlich um den 2 - 3fachen Wert schwanken. Die Gehalte an reduzierenden Zuckern weisen dagegen mit 6 - 7fachen Werten noch größere Unterschiede auf.

Die Einfachzucker Glucose und Fructose sind durch eine hohe chemische Reaktionsfreudigkeit gekennzeichnet, sie werden daher auch reduzierende Zucker genannt. Sie kommen insbesondere im Gefäßbündelring der Kartoffeln vor, wo sie zusammen mit freien Aminosäuren beim Fritierprozess in der sog. Maillard-Reaktion unerwünschte braune Verfärbungen hervorrufen können, die zudem in höheren Konzentrationen einen bitteren Geschmack aufweisen. Daher wird Knollenmaterial mit niedrigen Gehalten an reduzierenden Zuckern ($\leq 0,2$ % i.d. Frs.) für die Herstellung von z.B. Fritierprodukten bevorzugt. Verschiedene Zucker und deren Derivate werden heute aus der Kartoffel-Stärke durch Hydrolyse gewonnen und für viele technische Zwecke verwendet (Sucro-Chemie).

2. Entwicklung im Verlauf der Vegetation

In Abbildung 2 sind typische Verläufe der Gehalte dieser Zucker in den Blättern, Stängeln und Knollen während der Vegetation dargestellt worden. Das im Verlauf der Photosynthese in den Blättern gebildete erste Kohlenhydrat-Produkt ist die Glucose. Diese wird für den Aufbau anderer chemischer Verbindungen umgewandelt, im Stoffwechsel verbraucht oder in Form von Saccharose z.B. in die Knollen transportiert und dort schließlich in Form von Stärke eingelagert. Die höchsten Gehalte an allen Zuckern treten daher im Kraut z. Zt. hoher photosynthetischer Aktivität auf, die im Normalfall parallel zur Massenentwicklung der Pflanzen verläuft. In der zweiten Hälfte der Vegetation nehmen die Gehalte an Zuckern dann in der Regel wieder ab (Abb. 2).

Die Knollenbildungsphase wird durch hohe Konzentrationen an Zuckern in den Stolonen spitzen eingeleitet. Daher sind in ganz jungen Knollen, den zukünftigen Orten der Kohlenhydratspeicherung, zunächst recht hohe Gehalte an allen drei Zuckerarten anzutreffen (Abb. 2). Im Allgemeinen fallen die Gehalte dann schnell ab und erreichen sehr niedrige Werte über eine lange Zeitperiode, in der eine hohe Kohlenhydratspeicherung festzustellen ist.

3. Einfluss des Wetters

Erst am Ende der Vegetation und den dann auftretenden niedrigeren Umgebungstemperaturen steigen die Gehalte an Glucose und besonders an Fructose in den Knollen wieder an (Abb. 2). Bei ungünstigen Bedingungen für die Stärkebildung, wie z.B. bei extremen Temperaturen, können sich auch höhere Werte an Saccharose in verschiedenen Pflanzenteilen einstellen. Genauso können auch zwischenzeitlich höhere Werte an reduzierenden Zuckern auftreten, z.B. dann, wenn im Verlauf der Vegetation die Temperaturen plötzlich stark absinken.

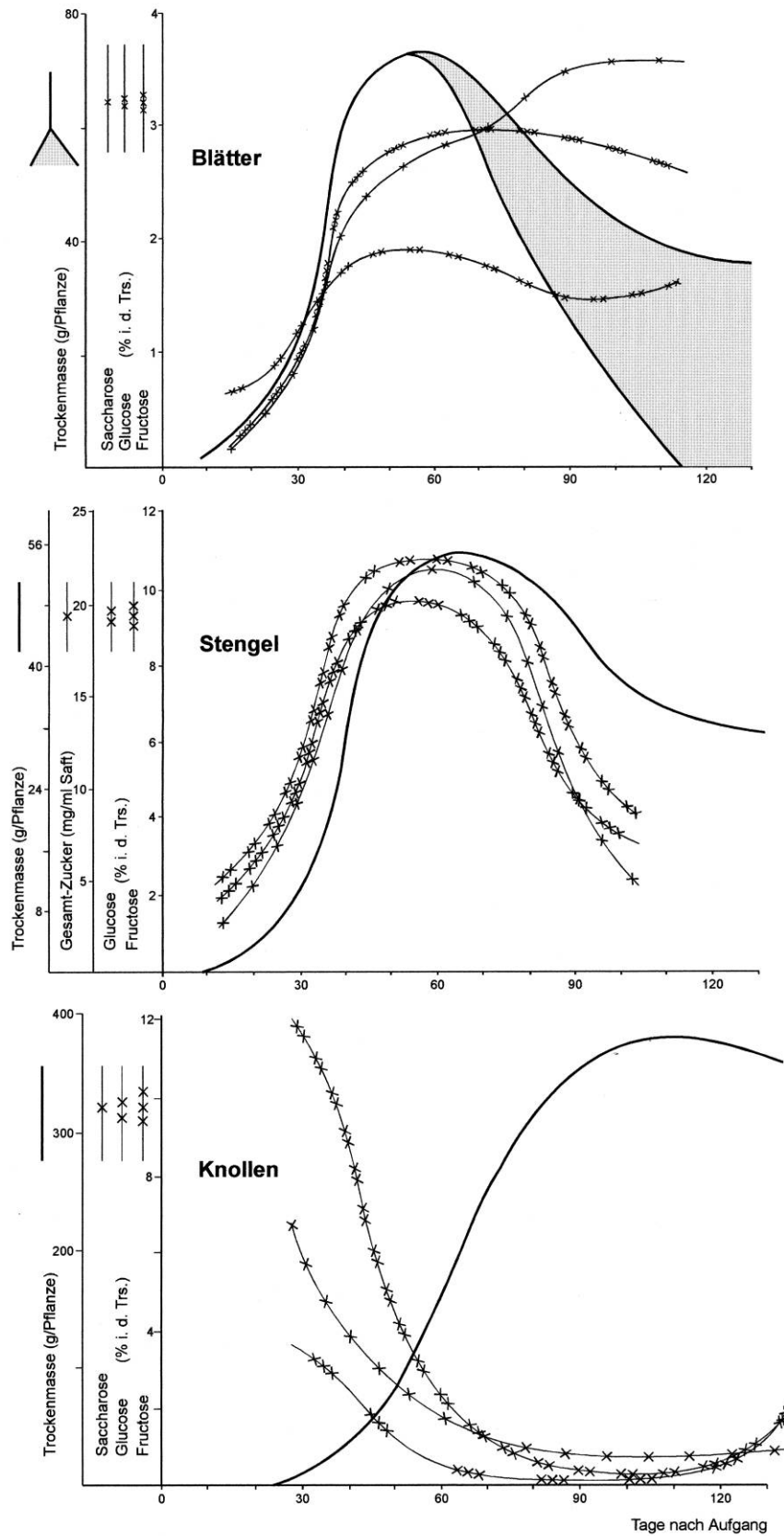


Abb. 2: Entwicklung der Trockenmasse im Vergleich zu den Gehalten an reduzierenden Zuckern (Glucose, Fructose) und an Saccharose im Blatt, Stängel und Knolle im Verlauf der Vegetation

Klimatische Veränderungen haben daher einen erheblichen Einfluss auf die Konzentrationen an Zuckern in der Kartoffelpflanze. Das trifft besonders für die Wirkung unterschiedlicher Temperaturen zu. Steigende Tagesmitteltemperaturen im Bereich der Hauptvegetationszeit der Kartoffel (Mai - August) verringern die Gehalte an reduzierenden Zuckern (Glucose + Fructose) deutlich (Abb. 3). Gleichzeitig kommt es zu einer Akkumulation an Saccharose in den Knollen (und darüber hinaus auch im Kraut), da die Stärkeeinlagerung in zunehmendem Maß durch hohe Temperaturen gestört wird. Da der Abfall an Fructose viel stärker ist als der an Glucose, erhöht sich das Verhältnis Glucose/Fructose in ähnlicher Weise, wie es hier für den Verlauf der Gehalte an Saccharose ausgewiesen worden ist.

Demgegenüber übt eine steigende Sonneneinstrahlung kaum einen nennenswerten Effekt auf die Gehalte an Zuckern aus. Die höhere photosynthetische Leistung zeigt sich vielmehr in einem Anstieg der Mengen an abgeleiteten und in die Knollen eingelagerten Kohlenhydraten, die Gehalte an Zuckern verändern sich hierdurch gewöhnlich kaum.

Der Einfluss steigender Niederschläge ist dagegen nicht einfach zu interpretieren, weil - außer in Extrembereichen - ein direkter Einfluss auf das pflanzliche Wachstum meistens nicht gegeben ist. Bei Niederschlagsmengen von 40 - 100 mm im Durchschnitt der Monate April bis September kann in der Regel weder von einem starken Mangel noch von einem Wasserüberfluss mit Staunässe gesprochen werden. Dennoch üben steigende Niederschläge in dem angegebenen Bereich einen starken Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Kartoffelbestände aus.

Im Normalfall kommt es auf den besseren Standorten (z.B. Löß) zu einer Abnahme der N-Verfügbarkeit (wegen Verlagerung, Auswaschung) und zu einer Zunahme der P-Verfügbarkeit und Aufnahme in die Pflanze, während die K-Verfügbarkeit sich noch nicht so stark verändert. Von beiden Effekten ist aber bekannt, dass sie einen positiven Einfluss auf die Gehalte an Zuckern ausüben. Steigende Niederschläge könnten somit auf diesem indirekten Wege die Gehalte an reduzierenden Zuckern und auch an Saccharose in den geernteten Knollen erhöhen.

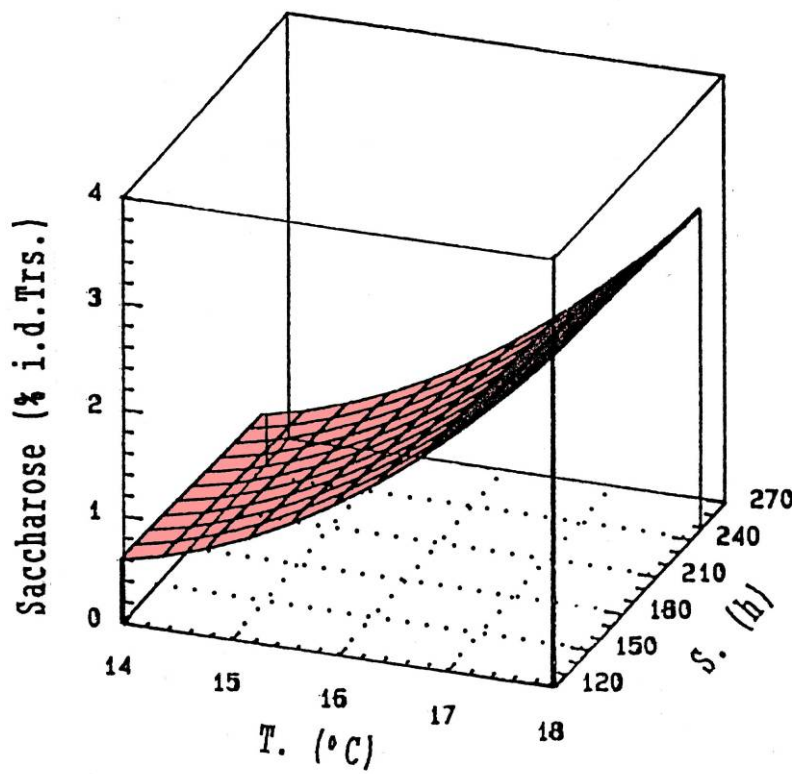
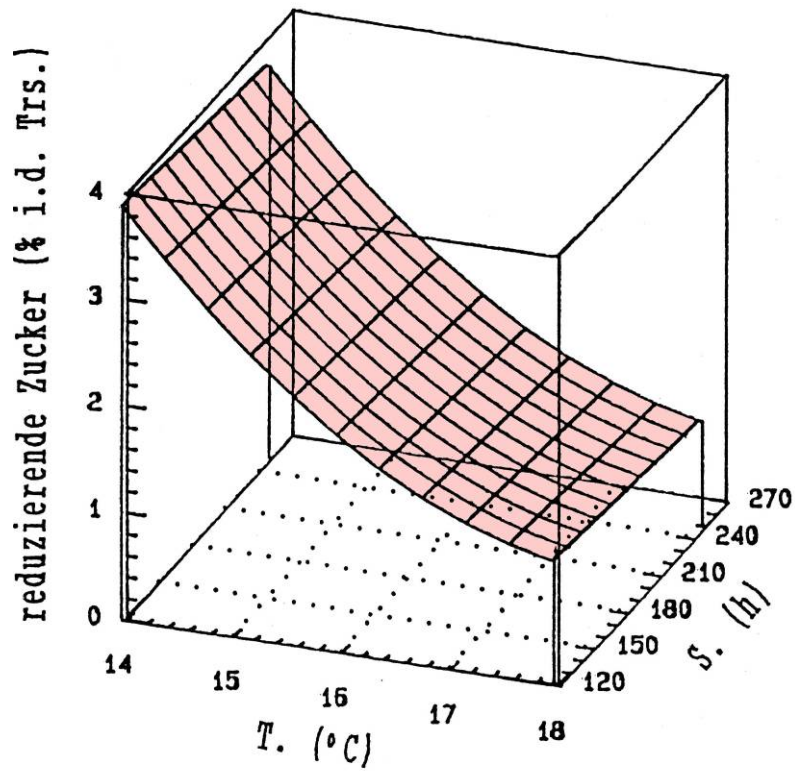


Abb. 3: Einfluss von Temperatur (T.) und Sonnenscheindauer (S.) auf die Gehalte an reduzierenden Zuckern und Saccharose in Kartoffelknollen

4. Einfluss der Nährstoffversorgung

Auch durch eine unterschiedliche Düngung bzw. Nährstoffversorgung der Kartoffelbestände können die Gehalte an Zuckern in Kartoffelknollen verändert werden (Abb. 4). In den praxisrelevanten Bereichen (1,3 - 2,0 % N; 0,2 - 0,4 % P und 1,5 - 2,8 % K) führt eine steigende N-Versorgung zu einer deutlichen Verringerung der Gehalte an reduzierenden Zuckern (Glucose und Fructose). Dagegen haben steigende P- und K-Versorgung nur geringfügige Auswirkungen, so dass unter praktischen Verhältnissen oft nur der negative Einfluss einer steigenden N-Düngung auf die Zuckerwerte in Kartoffelknollen nachzuweisen ist. Dies kann sich z. B. geringfügig positiv auf die Verfärbungsneigung von Fritierprodukten auswirken.

Die Gehalte an Saccharose können dagegen durch eine steigende N-Versorgung immer dann stark angehoben werden, wenn gleichzeitig auch die P-Versorgung der Kartoffelbestände verbessert wird. Erst eine sehr hohe N-Versorgung führt dann wiederum zu abnehmenden Saccharosewerten in den Knollen.

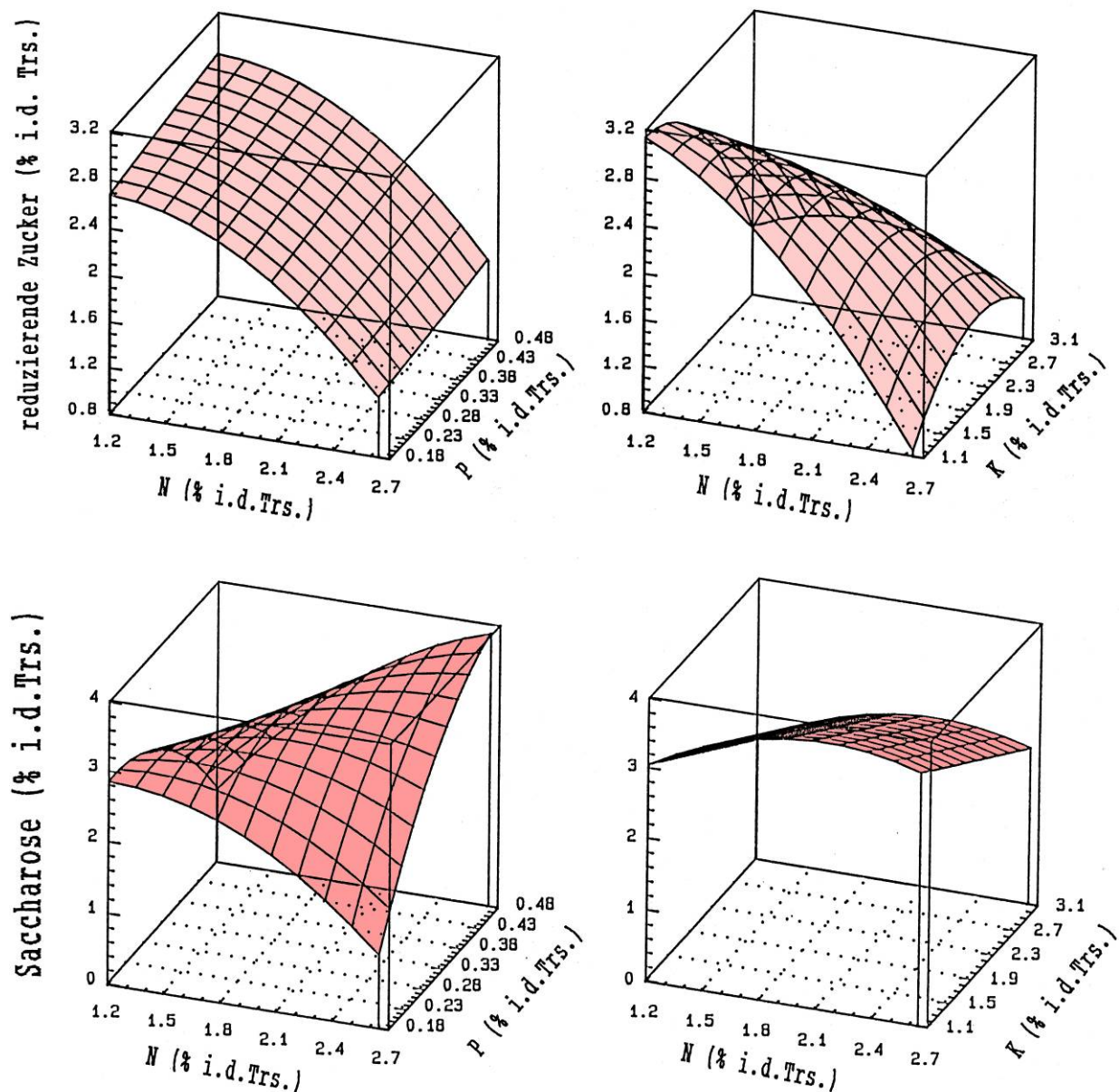


Abb. 4: Einfluss steigender Gehalte an Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) in Kartoffelknollen auf die Gehalte an reduzierenden Zuckern und Saccharose

5. Einfluss der Lagerung

Der Einfluss der Lagerung auf die Gehalte an reduzierenden Zuckern ist von ausschlaggebender Bedeutung und kann andere ackerbauliche Einflüsse weitgehend überdecken. Von den Lagerungsbedingungen ist es vor allen Dingen die Temperatur, die auf die reduzierenden Zucker in ähnlicher Weise einwirkt, wie es bereits im Kapitel Witterung dargelegt wurde.

Eine sechsmonatige Lagerung bei sehr niedrigen Temperaturen (4 °C, optimal für Speisekartoffeln), kann daher zu einer deutlichen Anreicherung mit reduzierenden Zuckern führen. Das Ausmaß der Anreicherung ist dabei abhängig von den Ausgangswerten z. Zt. der Ernte (Abb. 5). Je höher die jeweiligen Gehalte z. Zt. der Ernte sind, umso größer ist im Durchschnitt der Anstieg an Glucose und umso geringer ist die Anreicherung an Fructose. Dagegen führen hohe Ausgangswerte an Saccharose zu einer besonders starken Abnahme dieser Werte im Lager. Die Konzentrationen an Saccharose nehmen also, in Fortsetzung des Verlaufes bis zur Ernte, während der Lagerung weiter ab. Einige Wochen nach Beginn der Keimung nehmen dann die Gehalte aber wieder zu.

Wegen dieses typischen Verlaufes wird die Saccharose oft als Reifeanzeiger angesehen. Da die Gehalte an Saccharose aber von vielen Umweltbedingungen abhängig sind, können zur Charakterisierung von Reifestadien allerdings keine festliegenden Gehalte angegeben werden, sondern nur eine Trendkurve, die jedes Jahr auf einem anderen Niveau liegen kann. In den jeweils festgestellten Gehalten spiegeln sich daher vegetationsbedingte Einflüsse wieder, die auch als Indikatoren für bestimmte Lagerungsveränderungen angesehen werden können (Abb. 5).

So führt eine steigende N-Düngung, wie bereits beschrieben, zu einer Abnahme der Werte an reduzierenden Zuckern z. Zt. der Ernte. Dies führt dann im Verlauf der Lagerung dazu, dass die absolute Anreicherung an reduzierenden Zuckern etwas abnimmt und die relative Anreicherung dagegen zunimmt (Abb. 6). Auch eine K-Düngung führt zu einer höheren Zuckeranreicherung, während durch eine steigende P-Versorgung der Kartoffelbestände die Anreicherung an Zuckern im Verlauf der Lagerung etwas reduziert werden kann.

Die Höhe der Zuckerbildung im Verlauf der Lagerung ist abhängig von der Relation zwischen Abbau und Wiederaufbau an Stärke und der Veratmung an Kohlenhydraten, die zur Aufrechterhaltung der pflanzlichen Lebensprozesse notwendig ist. Diese Veränderungsrate ist in hohem Maße abhängig von den vorherrschenden Temperaturen. Bei rel. niedrigen Temperaturen, wie z.B. bei 4 °C für Speisekartoffeln, ist im Verhältnis zur Stärkeumsetzung eine stärkere Abnahme der Veratmungsrate zu verzeichnen, in deren Folge es zur Anreicherung mit reduzierenden Zuckern kommt. Hohe Gehalte an Zuckern haben eine bedeutende physiologische Funktion zur Erhöhung der Frosthärte des Knollengewebes bei niedrigen Temperaturen, damit lebensnotwendige Stoffwechselprozesse aufrechterhalten werden können.

Bei höheren Temperaturen von 6 - 10 °C ist die Relation zwischen Stärkerückbildung und Veratmungsrate zugunsten der höheren Atmung verschoben, so dass kaum eine Zuckeranhäufung im Verlauf der Lagerung zu verzeichnen ist. Daher eignet sich dieser Temperaturbereich besser für Kartoffeln, die zu Fritierprodukten verarbeitet werden sollen. Gleichzeitig ist aber eine höhere Aktivität der Keimung zu verzeichnen und die Knollen halten sich nicht so lange.

Kalt gelagerte Kartoffeln können durch anschließende Warmlagerung z.B. in 15 - 20 °C rekonditioniert werden. Hierdurch werden hohe Zuckergehalte durch den Stoffwechsel wieder veratmet oder sogar in größerem Umfang in Stärke zurückgebildet, so dass die Zuckergehalte in den Knollen wieder absinken. Auf diese Weise können sogar erhöhte Zuckerwerte nach mäßiger Frosteinwirkung wieder abgebaut werden, da diese Knollen sonst nach dem Kochen einen süßlichen Geschmack aufweisen. Das funktioniert aber nicht mehr nach starker Frosteinwirkung oder bei rel. alten stark keimenden Knollen z.B. nach langer Lagerung im ausgehenden Frühjahr. Dieses Knollenmaterial hat weitgehend die Fähigkeit verloren, den gebildeten Zucker wieder abzubauen. Veränderungen in den Membranen, die die Stärkekörner umgeben, scheinen hierfür verantwortlich zu sein. Der so gebildete Zucker wird auch "Alterszucker" genannt, er besteht im Wesentlichen aus Saccharose.

Mit Hilfe einer ausgeklügelten Lagerungstechnik können die Lagerungstemperaturen genau auf die Bedürfnisse der jeweiligen Knollenpartien abgestimmt werden. So weisen z.B. unreif geerntete Knollen nach Krautabtötung und/oder nach überhöhter N-Düngung im Lager höhere Gehalte an reduzierenden Zuckern auf. Diese für die Herstellung von Fritierprodukten nicht optimalen Kartoffelpartien

lassen sich in bestimmten Grenzen durch gezielte Rekonditionierung bei höheren Temperaturen für die Weiterverarbeitung verbessern.

Gefäßversuche Feldversuche

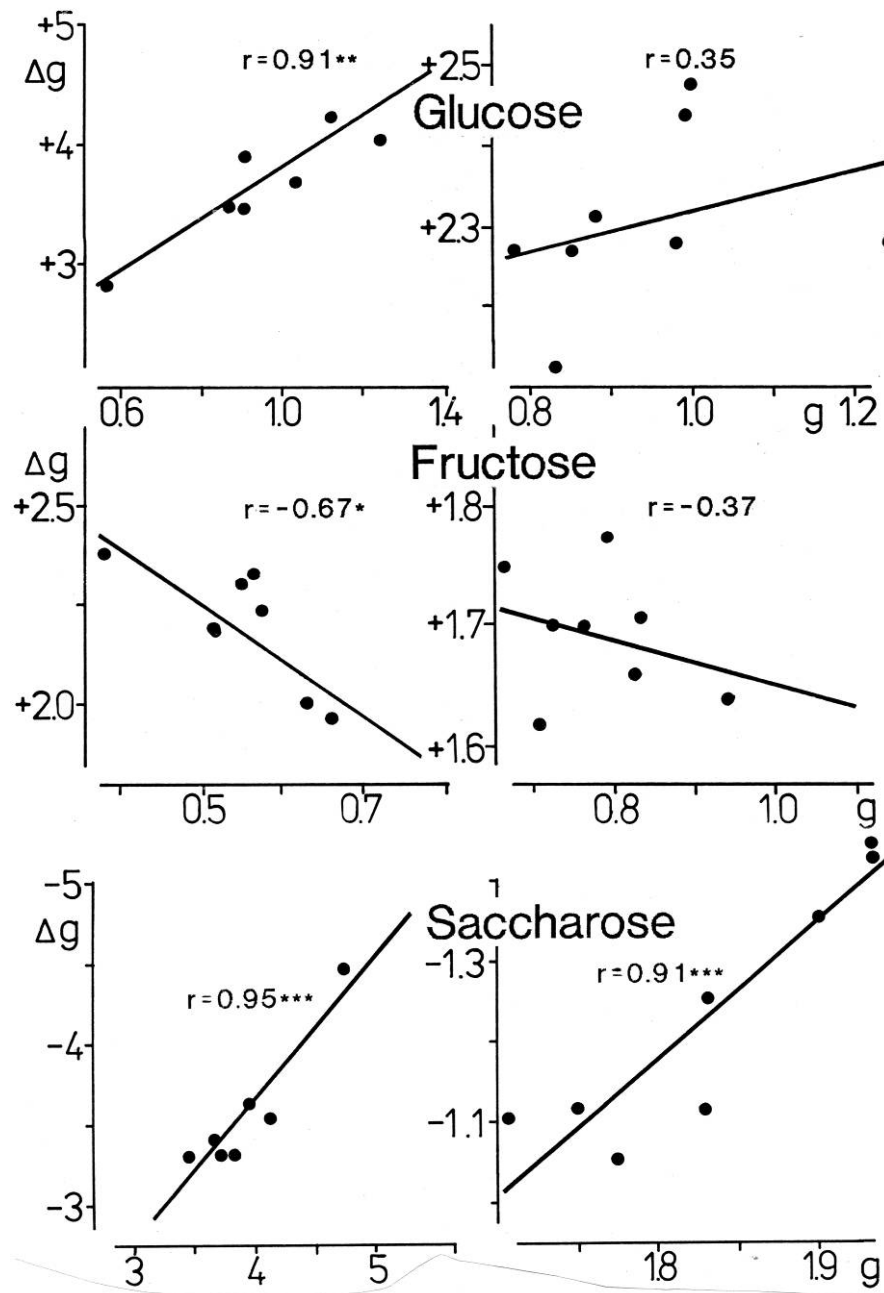
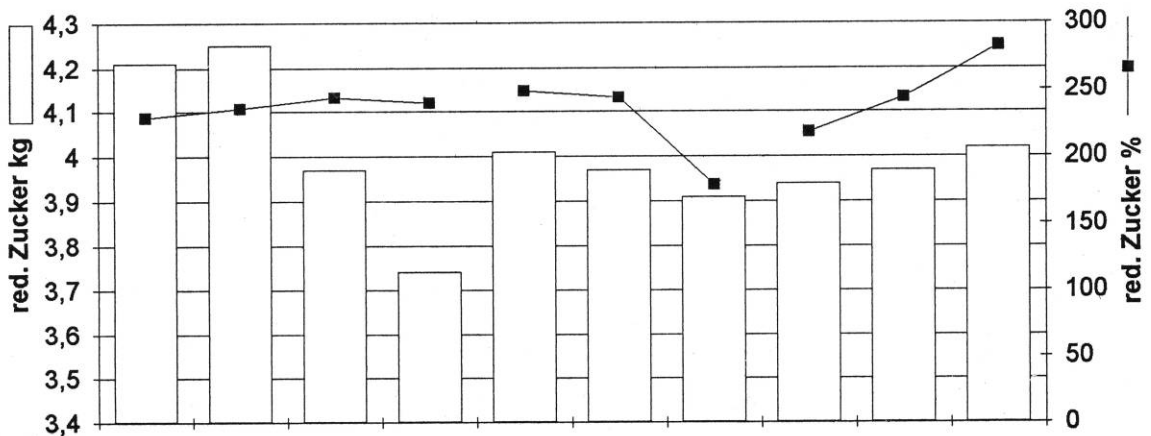
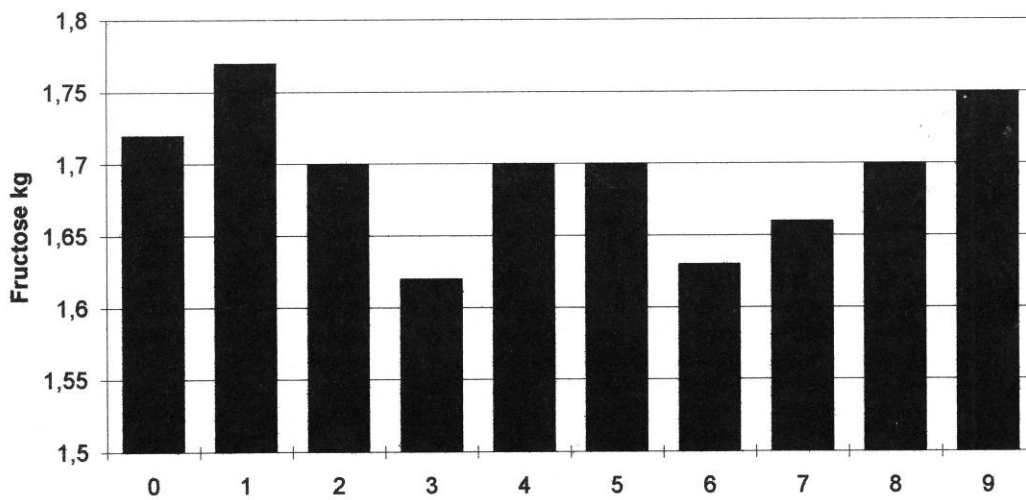
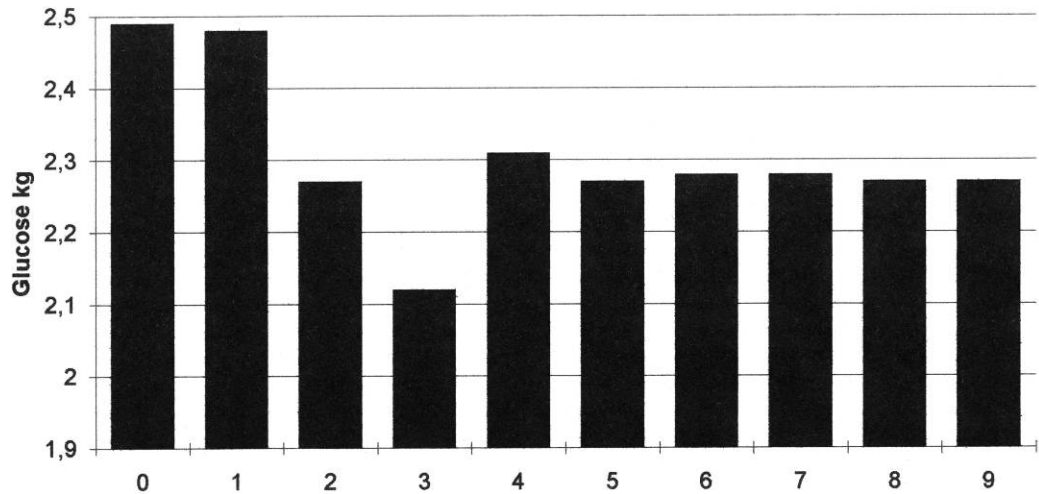


Abb. 5: Zusammenhang zwischen den Ausgangswerten an Saccharose, Glucose und Fructose z. Zt. der Ernte und den Veränderungen im Verlauf der Lagerung



| Variante | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N | 0 | 80 | 120 | 160 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| P ₂ O ₅ | 0 | 120 | 120 | 120 | 80 | 120 | 160 | 120 | 120 | 120 |
| K ₂ O | 0 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 100 | 200 | 300 |
| MgO | 0 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

Abb. 6: Einfluss steigender NPK-Düngung (kg/ha) auf die Veränderung der reduzierenden Zucker in 100 kg Kartoffeln nach einer sechsmonatigen Lagerung (4 °C, ≥ 90 % rel. Luftfeuchte)

6. Schlussfolgerungen

In diesem Artikel wurden Auswirkungen der Vegetation, des Wetters, der Nährstoffversorgung und der Lagerung auf die Gehalte an den drei Hauptzuckern in Kartoffelknollen (Saccharose, Glucose und Fructose) erläutert. Es konnte dargestellt werden, dass alle Einflussgrößen einen ganz spezifischen Einfluss ausüben. Auf die Zucker haben vor allen Dingen die Witterungsverhältnisse und hiervon insbesondere unterschiedliche Temperaturen im Verlauf der Vegetation einen hohen Einfluss. Die Temperaturverhältnisse sind darüber hinaus auch maßgebend verantwortlich für die weitere Veränderung der Zucker während der Lagerung.

Die Zucker in Kartoffeln haben eine Bedeutung bei der Herstellung von Bratprodukten oder Fritierprodukten. Hohe Zuckerwerte führen hier zu einer starken Bräunung der Produkte und zu Geschmacksbeeinträchtigungen. Auf Grund von Untersuchungen aus den letzten Jahren wird allerdings davon abgeraten, stark gebräunte Kartoffelprodukte zu essen, da parallel zur Bräunung das im Tierversuch krebserzeugende Acrylamid enthalten sein kann. Acrylamid entsteht bei Erhitzung aus reduzierenden Zuckern und Asparagin. Darüber hinaus haben die Zucker der Kartoffeln für die menschliche Ernährung keine große Bedeutung.

Von den landwirtschaftlichen Möglichkeiten zur Erzeugung von Kartoffelpartien mit niedrigen Zuckerwerten bietet sich vor allen Dingen die Sortenwahl an. Dies ist eine wichtige Voraussetzung um Kartoffeln mit günstigen Eigenschaften für die Weiterverarbeitung zu erzeugen. Dagegen können die Gehalte an reduzierenden Zuckern nur geringfügig durch eine gezielte Düngung beeinflusst werden. Zwar führt im Allgemeinen eine hohe N-Versorgung zu einer Abnahme der reduzierenden Zucker, doch besteht die Gefahr, dass diese Kartoffeln dann unreif geerntet werden. Dieses Material ist dann durch eine hohe Zuckeranreicherung im Verlauf der Lagerung gekennzeichnet. Fehler in der Bewirtschaftung können zwar durch eine ausgefeilte Führung der Lagerungstechnik in mancher Hinsicht ausgeglichen werden. Doch ist zu bedenken, dass hierfür oft ein erhöhter Einsatz an Energie erforderlich ist.

Wahl der richtigen Sorte sowie keine zu hohe N-Zufuhr besonders auch mit organischen Düngemitteln und möglichst keine vorzeitige Krautbeseitigung führen zu den gewünschten Knollenqualitäten. Dies auch nur dann, wenn die Ernte nach vollständiger Ausreife und nicht bei zu kaltem Wetter (hohe Verletzungsgefahr) erfolgt und die Knollen im Lager während der Einlagerungsphase zum Abtrocknen und zur Wundheilung bei Temperaturen zwischen 12 - 15 °C ca. eine Woche belassen werden, bevor die Temperaturen dann langsam auf niedrigere Werte für die Langzeitlagerung herabgefahren werden.

In landwirtschaftlichen Systemen mit geringem Betriebsmitteleinsatz, wie z.B. dem ökologischen Landbau, führt die relativ niedrige Nährstoffversorgung (insbesondere mit Stickstoff) im Allgemeinen zu etwas höheren Zuckerwerten in den geernteten Knollen. Darüber hinaus sind keine Unterschiede qualitativer Art zwischen einem Einsatz an Mineraldüngern und ausschließlicher organischer Düngung zu erwarten.