

# **Zum Wirkungsmechanismus des Saccharoseanstiegs in bestrahlten Kartoffeln. Part 1, Zusammenhang zwischen dem Anstieg des Saccharosegehaltes und der Phosphorylaseaktivität nach Gammabestrahlung**

Autor(en): **Becker, D.P. / Somogyi, J.C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène**

Band (Jahr): **68 (1977)**

Heft 3

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-982232>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Zum Wirkungsmechanismus des Saccharoseanstiegs in bestrahlten Kartoffeln

### I. Zusammenhang zwischen dem Anstieg des Saccharosegehaltes und der Phosphorylaseaktivität nach Gammabestrahlung

*D. P. Becker und J. C. Somogyi*

Institut für Ernährungsforschung, Rüslikon-Zürich  
(Direktor: Prof. Dr. J. C. Somogyi)

In einer früheren Arbeit haben *Somogyi, Kopp* und *Trautner* (1) den Einfluß von ionisierenden Strahlen auf Keimung, Zuckergehalt und Verarbeitungsqualität von Kartoffeln untersucht. Dabei zeigte sich, daß in den mit Gammastrahlen oder energiereichen Elektronenstrahlen (3 MeV) behandelten Kartoffeln (Strahlendosis 8—15 krad) ein bemerkenswerter Anstieg des Saccharosegehaltes (3—15-fach) gegenüber den Kontrollen auftrat. Glucose und Fructose ließen in den meisten Fällen ebenfalls einen, jedoch im Vergleich zur Saccharose unbedeutenden Anstieg erkennen. Die Höhe der Saccharosezunahme war bei diesen Versuchen unterschiedlich. Die Autoren (1) vermuteten, daß hierbei die Differenzen im Zeitabstand zwischen Bestrahlung und Bestimmung eine wesentliche Rolle spielten. Um dies nachzuprüfen, sollten mit der vorliegenden Arbeit die früheren Versuche nochmals aufgegriffen und durch Messungen in kürzeren Zeitabschnitten, die einen detaillierten Einblick in den zeitlichen Verlauf des Saccharoseanstiegs — insbesondere während der Anfangsphase — erlauben, ergänzt werden. Dabei konnten wir uns auf Vorversuche in dieser Richtung stützen (2).

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war, zu versuchen, den Wirkungsmechanismus des Saccharoseanstiegs durch enzymatische Untersuchungen einer Klärung entgegenzuführen.

Als eine mögliche Erklärung für die Zunahme sowohl des Saccharosegehaltes als auch der Respiration (3, 4) nach Bestrahlung bietet sich die Steigerung des enzymatischen Abbaus der Stärke als erster Reaktionsschritt an.

Da der Hauptabbauweg der Stärke in der Kartoffelknolle durch die Phosphorylase erfolgt (5), kommt diesem Enzym hier eine zentrale Bedeutung zu (s. Diskussion). *Schwimmer* und Mitarbeiter (6) zeigten, daß die Phosphorylase in bestrahlten, bei 21°C gehaltenen Kartoffeln aktiviert war. *Kodenchery* und *Nair* (7) fanden einen Anstieg der Phosphorylaseaktivität von 25% zwei und vierundzwanzig Stunden nach Gammabestrahlung mit 10 krad, wobei die Kartoffeln bei einer Temperatur von 25°C gehalten wurden. Eine Erhöhung der Be-

strahlungsdosis auf 500 krad führte dagegen zu einer Abnahme der Enzymaktivität um 5%.

Es schien uns daher wichtig, die Phosphorylase einer eingehenderen Untersuchung zu unterziehen, wobei uns besonders die Fragen interessierten, ob und welches Ausmaß die Aktivitätszunahme erreicht, wie der Anstieg zeitlich verläuft und ob und gegebenenfalls in welcher Weise die Erhöhung der Saccharose und der Phosphorylaseaktivität miteinander korreliert sind.

### Material und Methoden

Zur Untersuchung gelangten Kartoffeln der Sorten Maritta, Bintje und Ostarra. Die Bestrahlung erfolgte mit Gammastrahlen ( $^{60}\text{Co}$ -Quelle, Pool-Gammabestrahlungsanlage an der Eidg. Forschungsanstalt, Wädenswil, mit 10 krad bei 20°C (Dosisleistung: 110 krad/h).

Die Lagerung der bestrahlten Kartoffeln wie auch der unbestrahlten Kontrollen erfolgte in Holzgestellen bei einer Temperatur von 9°C und 85% relativer Luftfeuchtigkeit. Für jede Messung wurden jeweils zehn Kartoffeln herangezogen. Für die Enzymbestimmungen wurde mit einem Korkbohrer ein Gewebezylinder von 8 mm Durchmesser ausgestanzt. Die Restkartoffeln wurden wie beschrieben für die Bestimmung der Saccharose sowie der reduzierenden Zucker aufgearbeitet (1).

Die Gewebezylinder wurden auf eine Länge von 5 cm geschnitten und 30 g davon in 50 ml Extraktionspuffer in einem PT 2000 Stabmixer 3mal 15 Sekunden im Eiswasserbad homogenisiert.

Der Extraktionspuffer enthielt:

- 0,05 M Citratpuffer, pH 6,1
- 0,001 M EDTA
- 0,003 M  $\text{MgCl}_2$
- 0,02% Merkaptoäthanol

Der Zusatz von Merkaptoäthanol diente dazu, die in Kartoffeln sehr hohe Polyphenolaseaktivität (*Pollock and Rees (8)*) zu hemmen.

Das Homogenat wurde anschließend durch 2 Lagen Tuch gepreßt und 30 Minuten bei 15 000 g in der Kühlzentrifuge zentrifugiert. Aus dem Ueberstand wurden die Proteine mit festem Ammoniumsulfat ausgefällt. Die Fraktion mit 30—50% Sättigung, die nach *Kennedy und Isherwood (9)* den Hauptanteil der Phosphorylaseaktivität enthält, wurde für die Phosphorylasebestimmung eingesetzt.

*Bestimmung der Phosphorylase ( $\alpha$ -1,4 — glucan-orthophosphat-glucosyltransferase, E(2.4.1.1)*

Der Ansatz enthielt:

- 0,2 ml Citratpuffer (0,5 M, pH 6,1)
- 0,2 ml lösliche Stärke (5%)

0,1 ml NaF (0,05 M)

0,05 ml Enzymlösung (in 0,05 M Citratpuffer pH 6,1 aufgenommenes Ammoniumsulfat-Präzipitat, entspricht 0,5—1  $\mu$ g Protein).

Die Reaktion wurde durch Zugabe von 0,05 ml Glucose-1-phosphat (G-1-P) gestartet. Die Inkubationsdauer betrug 10 Minuten bei 37°C.

Die Reaktion wurde mit 1 ml Trichloressigsäure (10%) gestoppt. Bei den Kontrollen wurde das Substrat (G-1-P) erst nach dem Abstoppen zugegeben. Das freigesetzte Phosphat wurde nach *Fiske* und *Subbarow* (10) und der Proteingehalt nach *Lowry* (11) bestimmt. Die Angabe der Enzymaktivität erfolgte in  $\mu$ mol freigesetztes Phosphat pro Minute und mg Protein.

## Ergebnisse

### *Einfluß der Bestrahlung auf den Saccharosegehalt*

Diese Befunde bestätigen unsere früheren Ergebnisse (1, 2), wonach der Saccharosegehalt in den Kartoffeln nach Gammabestrahlung stark zunimmt. In den

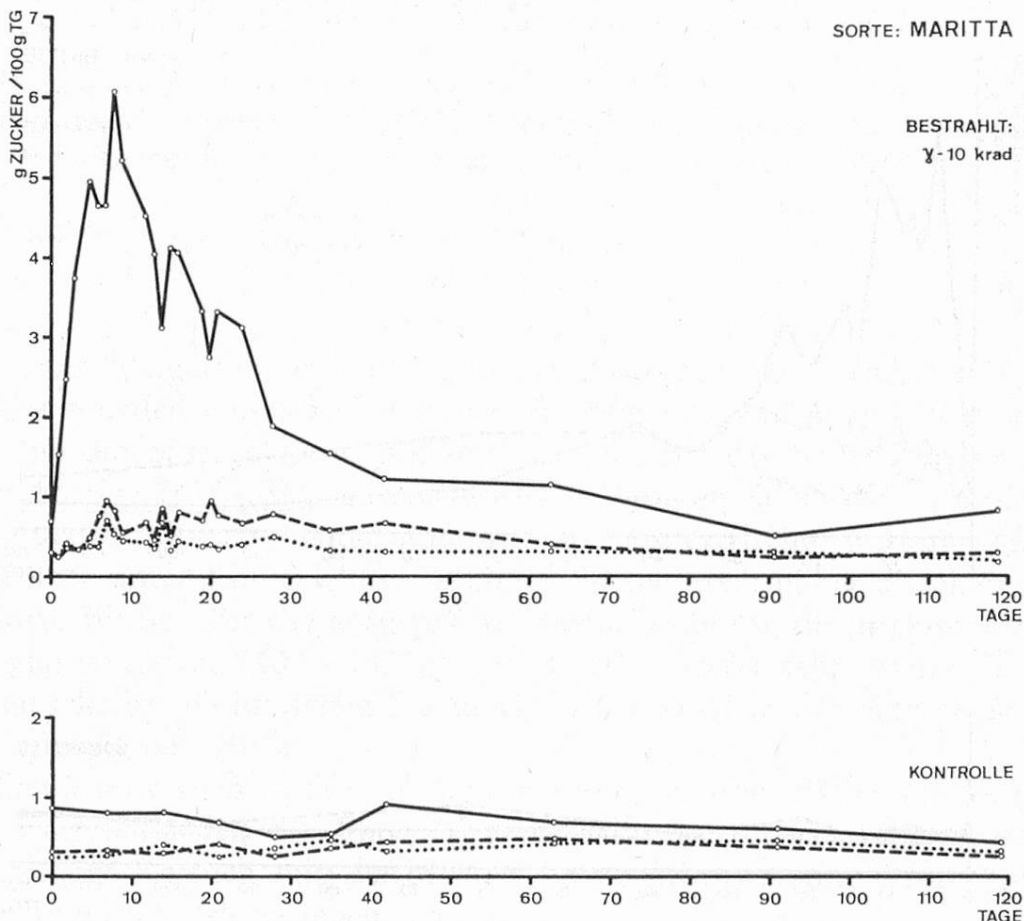


Abb. 1. Einfluß der Behandlung mit Gammastrahlen (10 krad) auf den Zuckergehalt von Kartoffeln der Sorte Maritta (Messungen in kurzen Zeitabschnitten). Im unteren Teil der Abbildung sind die Zuckergehalte der Kontrollen dargestellt.

———— Saccharose      - - - - - Glucose      ..... Fructose

vorliegenden Versuchen konnte durch Messungen in kurzen Zeitabständen (vierundzwanzigstündige Intervalle) dieser Anstieg zeitlich gut verfolgt werden. Wie die Abbildungen 1 und 2 zeigen, ist bereits zum Zeitpunkt der ersten Bestimmung (vierundzwanzig Stunden nach der Bestrahlung) ein deutlicher Anstieg meßbar, der zwischen dem fünften und zehnten Tag nach Bestrahlung seinen Höchstwert erreicht, wie das auch unsere vorhergehenden Versuche zeigten (2). Danach fällt die Saccharosekonzentration wieder innert 60—90 Tagen auf den Wert der unbestrahlten Kontrollen ab. Die maximal erreichten Saccharosegehalte (Saccharosegehalte der unbestrahlten Kontrollen = 100%) betragen im Mittel aus 12 Versuchen 661% (min. 132%, max. 1987%). In diesen Versuchen konnte auch bei der Sorte Maritta eine ausgeprägte Saccharosezunahme (489% und 1987%) nachgewiesen werden. Auf diesen Befund wird in der Diskussion noch näher eingegangen.

### *Einfluß der Bestrahlung auf die Aktivität der Phosphorylase*

Die Ergebnisse der Phosphorylaseuntersuchungen sind in Abbildung 3 zusammengefaßt. Wie aus dieser hervorgeht, führte die Behandlung der Kartoffelknollen mit Gammastrahlen nicht nur zu einer Zunahme des Saccharosegehaltes, sondern

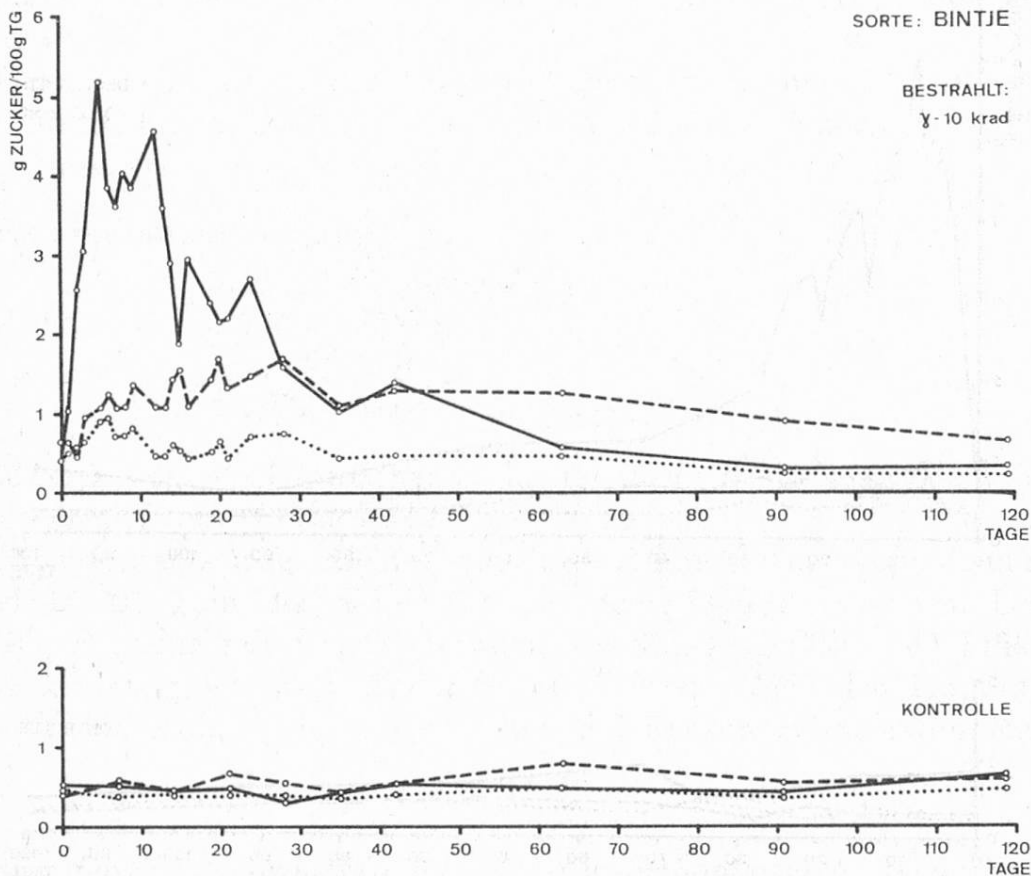


Abb. 2. Einfluß der Behandlung mit Gammastrahlen (10 krad) auf den Zuckergehalt von Kartoffeln der Sorte Bintje (Messungen in kurzen Zeitabschnitten). Im unteren Teil der Abbildung sind die Zuckergehalte der Kontrollen dargestellt.

———— Saccharose      - - - - - Glucose      ..... Fructose

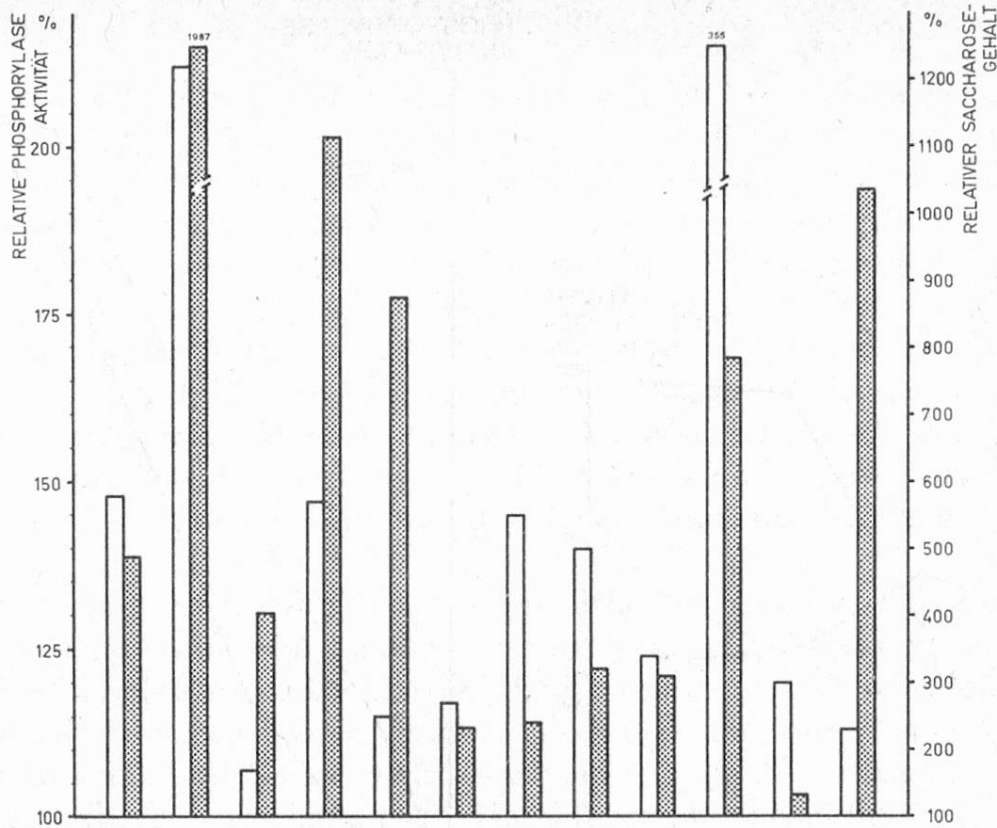


Abb. 3. Maximaler Anstieg der Enzymaktivität der Phosphorylase und maximaler Saccharosegehalt nach der Behandlung mit Gammastrahlen (10 krad) von Kartoffeln (versch. Sorten) bezogen auf die unbestrahlten Kontrollen = 100%.

□ Phosphorylase      ▨ Saccharose

auch zu einer Steigerung der Phosphorylaseaktivität. Die höchsten Aktivitätssteigerungen wurden einerseits bei der Sorte Maritta (148% und 212%) und andererseits bei der Sorte Ostara (355%) ermittelt. Bei der Sorte Bintje betrug der maximale Anstieg 147%. Das unterschiedliche Ausmaß der Aktivitätszunahme bei den untersuchten Sorten deutet auf eine sortenspezifische Wirkung hin. Diese Frage soll aber unter Einbeziehung weiterer Sorten noch näher abgeklärt werden. Bei der Sorte Bintje fällt die ausgeprägte Variationsbreite der maximal erreichten Phosphorylaseaktivität (107—147%) auf. Hierbei spielt sehr wahrscheinlich neben der natürlichen biologischen Streuung auch das Alter der Kartoffeln und die Art der Lagerung eine Rolle.

Bei allen 3 untersuchten Sorten bestand in den meisten Fällen ein ausgeprägter zeitlicher Parallelanstieg der Phosphorylaseaktivität und des Saccharosegehaltes. Je ein typischer Versuch mit den Sorten Bintje, Maritta und Ostara ist in Abbildung 4, 5 und 6 wiedergegeben.

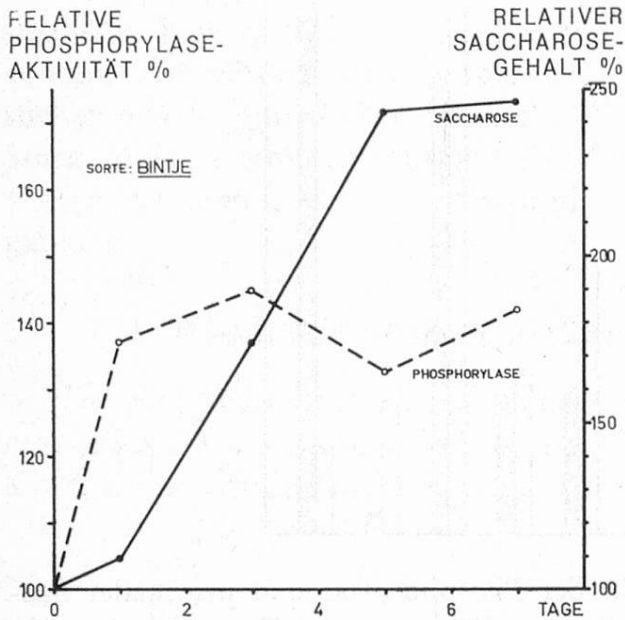


Abb. 4. Vergleich des zeitlichen Verlaufs des Anstiegs der Enzymaktivität der Phosphorylase und der Zunahme des Saccharosegehaltes bei der Sorte Bintje, bezogen auf die unbestrahlten Kontrollen = 100<sup>0</sup>/o.

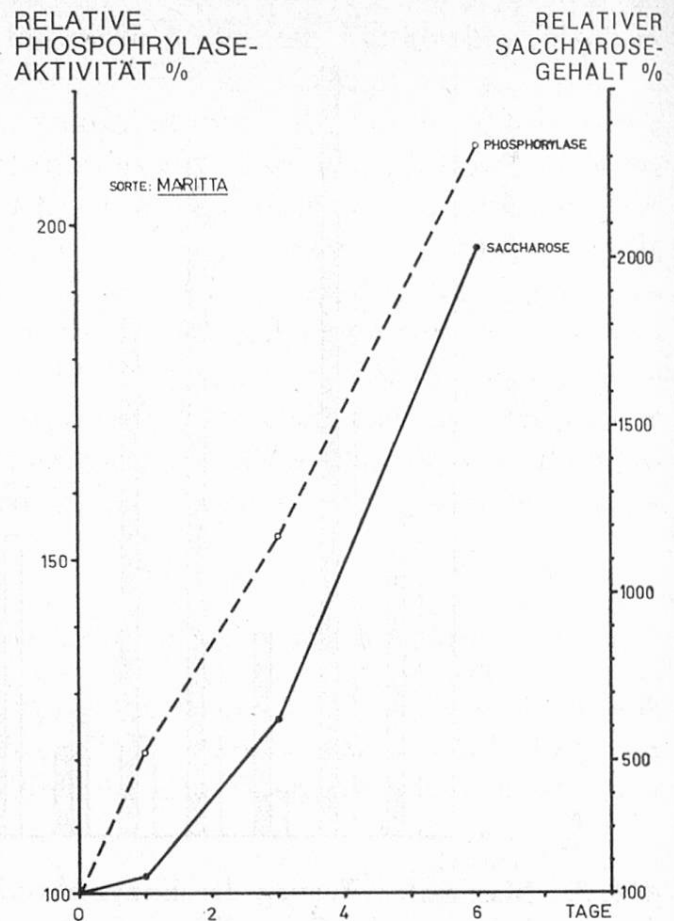


Abb. 5. Vergleich des zeitlichen Verlaufs des Anstiegs der Enzymaktivität der Phosphorylase und der Zunahme des Saccharosegehaltes bei der Sorte Maritta, bezogen auf die unbestrahlten Kontrollen = 100<sup>0</sup>/o.

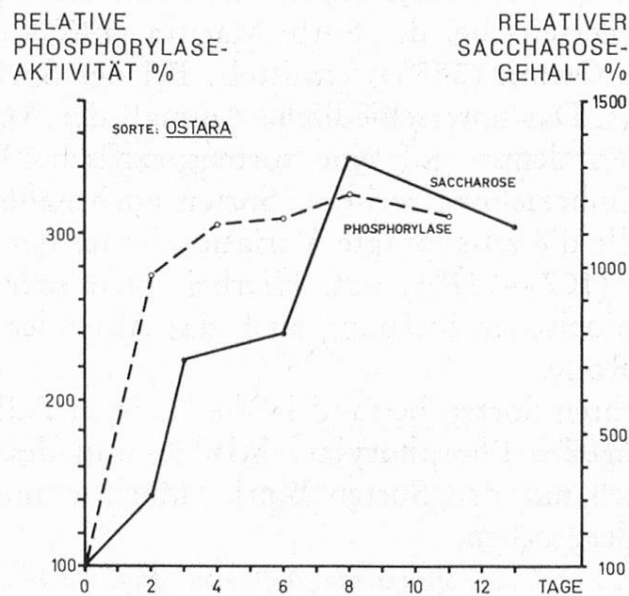
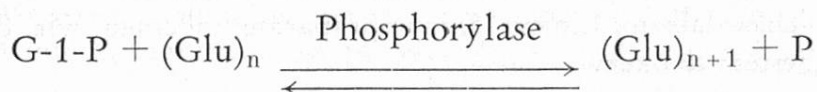


Abb. 6. Vergleich des zeitlichen Verlaufs des Anstiegs der Enzymaktivität der Phosphorylase und der Zunahme des Saccharosegehaltes bei der Sorte Ostara, bezogen auf die unbestrahlten Kontrollen = 100<sup>0</sup>/o.

## Diskussion

Unsere Untersuchungen über den Saccharosegehalt an gammabestrahlten Kartoffeln bestätigten — wie bereits erwähnt — die Befunde einer früheren Arbeit (1). Während dort bei der Sorte Maritta in einigen Fällen scheinbar nur ein geringer Anstieg festzustellen war, konnte in der vorliegenden Untersuchung auch bei dieser Sorte ein ausgeprägter Saccharoseanstieg nach Gammabestrahlung nachgewiesen werden. Er lag in der gleichen Größenordnung wie bei den übrigen untersuchten Sorten. *Somogyi, Kopp* und *Trautner* (1) vermuteten, daß auch bei Maritta ein gleich großer Anstieg erfolgte wie bei Bintje, der jedoch wegen des zu großen Zeitraumes zwischen der ersten Messung kurz nach der Bestrahlung und der zweiten Bestimmung 2—4 Tage später nicht voll erfaßt wurde. Die neueren Messungen in kürzeren Zeitabständen haben somit diese Annahme experimentell bestätigt.

Der enzymatische Stärkeabbau kann in Pflanzen grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen, nämlich erstens durch die Amylasen und zweitens durch die Phosphorylase. In Kartoffelknollen konnte bisher lediglich geringe Amylaseaktivität nachgewiesen werden. Sie wurde auf nur 1% von derjenigen von Süßkartoffeln und Gerstenmalz — die beide hohe Aktivitäten an diesen Enzymen aufweisen — geschätzt (12). Die Hauptrolle beim Stärkeabbau in der Kartoffelknolle spielt demnach die Phosphorylase. Diesem Abbau liegt folgendes Reaktionsschema zugrunde:



In vivo verläuft die Reaktion ausschließlich von rechts nach links, also in Richtung des Abbaus der Stärke unter Freisetzung von Glucose-1-phosphat.

Unsere Befunde über einen Anstieg der Phosphorylaseaktivität nach Gammastrahlung stehen grundsätzlich im Einklang mit den Ergebnissen der bereits zitierten Autoren (6, 7). Während aber *Kodenchery* und *Nair* (7) den Anstieg lediglich bis zu 24 Stunden nach der Bestrahlung verfolgen, geht aus den vorliegenden Untersuchungen hervor, daß der Anstieg noch über diesen Zeitpunkt hinaus anhält und am 6.—10. Tag ein Maximum erreicht. Weiterhin konnte gezeigt werden, daß der Anstieg der Enzymaktivität in den meisten Fällen parallel mit der Saccharosezunahme erfolgt. Demnach ist es sehr wahrscheinlich, daß die Bausteine für die Saccharosesynthese primär von der Phosphorylase bereitgestellt werden.

Ueber den Mechanismus der Saccharosesynthese selbst aus diesen Bausteinen kann aufgrund der vorliegenden Befunde noch keine Aussage gemacht werden. Untersuchungen der an der Saccharosesynthese unmittelbar beteiligten Enzyme, nämlich Saccharosesynthetase und Saccharosephosphatsynthetase, befinden sich im Gange. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, daß auch diese Enzyme durch die Gammabestrahlung aktiviert werden.

Eine möglichst umfassende Kenntnis des Mechanismus der Saccharosebildung nach Gammabestrahlung scheint besonders wünschenswert, weil die Behandlung der Kartoffeln mit ionisierenden Strahlen zur Keimhemmung in der nächsten



Zukunft eine weitere Verbreitung erfahren dürfte. Dies um so mehr, da ein gemeinsames Komitee der WHO, FAO und IAE0 aufgrund der vorliegenden experimentellen Befunde an ihrer Sitzung vom September 1976 in Genf zur Ansicht gelangte, daß sich die auf übliche Weise bestrahlten Kartoffeln (Dosis: 8—12 krad) ohne Einschränkung für den menschlichen Konsum eignen. Auch die Tatsache, daß die Bestrahlung von Kartoffeln heute bereits in 13 Ländern zugelassen wurde, weist auf die steigende Bedeutung dieses Verfahrens hin. Andererseits wird — wie bekannt — ein beachtlicher Teil der für den menschlichen Konsum bestimmten Kartoffeln industriell verarbeitet, wobei die Qualität, besonders die Farbe, bestimmter Fertigprodukte, wie beispielsweise Pommes chips, Pommes frites u. a., durch den Zuckergehalt der Rohware wesentlich beeinflusst wird. Auch aus dieser Sicht scheint uns wichtig, den Mechanismus der Zuckerbildung weiter aufzuklären. Solche biochemischen Untersuchungen befinden sich im Gange.

### *Dank*

Die Arbeit wurde mit der Unterstützung der Eidg. Fachkommission für Lebensmittelbestrahlung und des Eidg. Gesundheitsamtes durchgeführt, wofür wir unseren besten Dank aussprechen.

Herrn Direktor Prof. Dr. R. *Fritzsche* und Herrn Dipl. Ing.-Agr. ETH *H. J. Zehnder*, Eidg. Forschungsanstalt, Wädenswil, möchten wir für die angenehme Zusammenarbeit und für die Durchführung der Bestrahlungen bestens danken.

Für die Ueberlassung einiger Enzympräparate möchten wir der Firma Boehringer, Mannheim, bestens danken.

### *Zusammenfassung*

Unsere früheren Befunde über die Erhöhung des Saccharosegehaltes in Kartoffeln nach Gammabestrahlung (Dosis: 10 krad) wurden bestätigt.

Durch Messungen des Saccharosegehaltes in kürzeren Zeitabständen, alle 24 Stunden während den ersten 20 Tagen nach der Bestrahlung, konnte der Anstieg genau verfolgt werden. Das Maximum der Saccharosezunahme fand je nach Sorte zwischen dem fünften und zehnten Tag statt.

Die Behandlung der Kartoffelknollen mit Gammastrahlen hatte auch eine Steigerung der Phosphorylaseaktivität zur Folge. Die höchste Aktivitätssteigerung wurde bei den Sorten Ostara (355%) und Maritta (148%—212%) ermittelt. Bei der Sorte Bintje betrug der maximale Aktivitätsanstieg 147%. Das unterschiedliche Ausmaß der Aktivitätszunahme deutet auf eine sortenspezifische Wirkung hin.

In den meisten Fällen bestand bei allen drei untersuchten Kartoffelsorten ein zeitlich deutlicher Zusammenhang zwischen Anstieg der Phosphorylaseaktivität und des Saccharosegehaltes.

Die Bedeutung dieser Befunde für die Abklärung des Mechanismus der Saccharose-synthese in Kartoffeln wird diskutiert.

## Résumé

Les précédents résultats des auteurs concernant l'augmentation de la teneur en saccharose des pommes de terre après irradiation (dose: 10 krad) sont confirmés.

L'augmentation a pu être suivie exactement en effectuant des dosages du saccharose toutes les 24 heures durant les 20 premiers jours suivant l'irradiation. Selon la variété de pommes de terre, l'augmentation maximum se situe entre le cinquième et le dixième jour.

Le traitement des pommes de terre par les rayons gamma a également pour conséquence une augmentation de l'activité de la phosphorylase. La plus forte augmentation de l'activité a été décelée pour les variétés Ostara (355%) et Maritta (148—212%). Pour la variété Bintje l'augmentation maximale de l'activité a atteint 147%. La différence d'augmentation de l'activité semble aussi reposer sur une action spécifique à la variété de pommes de terre.

Dans la majorité des cas il existait pour chacune des 3 variétés de pommes de terre examinées une corrélation marquée entre l'augmentation de l'activité de la phosphorylase et de la teneur en saccharose.

La signification de ces résultats en vue d'expliquer le mécanisme de la synthèse du saccharose dans des pommes de terre est discutée.

## Summary

Our previous findings on the rise of sucrose in potatoes after irradiations with gamma rays have been confirmed. By measuring the sucrose content in short intervals every 24 hours during 20 days after irradiation, its increase could be followed more exactly. The rise in sucrose reaches its maximum 5—10 days after irradiation depending on the variety.

The treatment of potatoes with gamma rays caused also a rise in the phosphorylase-activity. The highest increase was observed at the variety Ostara (355%) and Maritta (148%—212%). The highest increase of the phosphorylase-activity in Bintje was 147%. These observed differences might indicate that this effect depends also on the variety used.

A time dependent relationship between the rise of sucrose content and phosphorylase activity seems to exist in all three potato varieties.

Finally the significance of these findings for the clarification of the mechanism of the sucrose synthesis in potatoes is discussed.

## Literatur

1. Somogyi, J. C., Kopp, P. und Trautner, K.: Der Einfluß ionisierender Strahlen und chemischer Keimhemmungsmittel auf Keimung, Zuckergehalt und Verarbeitungsqualität von Kartoffeln. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **66**, 117—140 (1975).
2. Somogyi, J. C. und Kopp, P. M.: Ablauf der Saccharose Zu- und Abnahme in Kartoffeln nach Behandlung mit ionisierenden Strahlen. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Qualitätsforschung. Wädenswil, 7.—10. Oktober 1975.
3. Sussman, A. S.: The effect of ionizing radiations upon the respiration and oxidases of the potato tuber. J. Cell. Comp. Physiol. **42**, 273—283 (1953).
4. Gustavson, F. G., Brownell, L. E. and Martens, R. A.: Influence of gamma-irradiation of potato-tubers on the rate of respiration. Am. Potato J. **34**, 177—183 (1957).

5. Schick, R. und Klinkowski, M.: Die Kartoffel. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Dresden 1962.
6. Schwimmer, S., Weston, W. J. and Makower, R. U.: Biochemical effects of  $\gamma$ -radiation on potato tubers. Arch. Biochem. Biophys. **75**, 425—434 (1958).
7. Kodenchery, U. K. and Nair, M. P.: Metabolic changes induced by sprout inhibiting dose of  $\gamma$ -irradiation in potatoes. J. Agr. Food Chem. **20**, 282—285 (1972).
8. Pollock, C. J. and ap Rees, T.: Activities of enzymes of sugar metabolism in cold-stored tubers of solanum tuberosum. Phytochem. **14**, 613—617 (1975).
9. Kennedy, M. G. H. and Isherwood, F. A.: Activity of phosphorylase in solanum tuberosum during low temperature storage. Phytochem. **14**, 667—670 (1975).
10. Fiske, C. H. and Subbarow, Y.: The colorimetric determination of phosphorus. J. Biol. Chem. **66**, 375—400 (1925).
11. Lowry, O. H., Rosebruogh, N. J., Lewis, A. and Randall, R. J.: Protein measurement with the folin-phenol reagent. J. Biol. Chem. **193**, 265—275 (1951).
12. Schwimmer, S.: Enzyme systems of the white potato. J. Agr. Food Chem. **1**, 1063—1069 (1953).

Prof. J. C. Somogyi  
Dr. D. P. Becker  
Institut für Ernährungsforschung  
CH-8803 Rüslikon