

## Zur Qualitätserhaltung dünnschaliger Kartoffeln durch Röntgenstrahlen niederer Dosis

Von

A. BERGER und H. HANSEN

Mitteilung aus der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe

Mit 6 Textabbildungen

(Eingegangen am 2. Dezember 1961)

### I. Einleitung — Problemstellung

Bei einem großen Teil der zahlreichen bisher durchgeführten Untersuchungen über die Einwirkung ionisierender Strahlen auf die Keimhemmung und das Lagerverhalten von Kartoffeln wurden als Strahlungsquelle radioaktive Isotope oder verbrauchte Kernbrennstoffstäbe benutzt. Die Strahlendosis, die für die Keimunterdrückung notwendig ist, liegt bei 15 000 bis 30 000 r<sup>1</sup>.

Aus den bisher veröffentlichten Untersuchungen über die  $\gamma$ -Bestrahlung von Kartoffeln geht hervor, daß die Lagerdauer bestrahlter Kartoffeln neben der Strahlendosis wesentlich von der Kartoffelsorte, den Lagerbedingungen, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängt<sup>1, 2</sup>, ferner wurde gefunden, daß die Fäulnisanfälligkeit der Kartoffeln durch Bestrahlung wesentlich erhöht wird<sup>2, 3</sup>. Weiterhin zeigte es sich, daß der Stoffwechsel durch die Einwirkung sehr hoher Strahlendosen ungünstig beeinflusst wird.

Im Verlauf von früheren Versuchen an einigen deutschen Kartoffelsorten beobachteten wir, daß durch die Einwirkung von Röntgenstrahlen die Peridermbildung stark gehemmt wird. Auf Grund dieser Beobachtung und angeregt durch die ständig wachsenden Ansprüche der Verbraucher, besonders an die äußere Beschaffenheit der Ware, wurden Untersuchungen durchgeführt, um das „frühkartoffelähnliche“ Aussehen von frischgeernteten dünnschaligen Kartoffeln über einen Zeitraum von mehreren Monaten bei einer Lagertemperatur von 15° C (in beheizten Hauskellern meist anzutreffen) zu erhalten. Nach mehrmonatiger Lagerung wurden dann die bestrahlten Kartoffeln mit kühlhaus- und mietengelagerten Kartoffeln verglichen.

<sup>1</sup> KUPRIANOFF, J., u. K. LANG: Strahlenkonservierung und Kontamination von Lebensmitteln. S. 149. Darmstadt: Steinkopff 1960.

<sup>2</sup> BERGER, A.: Atompraxis 6, 301 (1960).

<sup>3</sup> SERENO, M. N., M. E. HIGHLANDS, C. E. CUNNINGHAM: Agric. Exp. Stat. Bull. 563, 47 (1957).

Außerdem erschien es interessant, ergänzend zu früheren Versuchen festzustellen, ob die zur Keimverzögerung notwendige Dosis vom Bestrahlungszeitpunkt nach der Ernte abhängt.

## II. Versuchsgut und Lagerung

Da bekanntlich das Ausreifenlassen der Kartoffeln im Boden oder eine vorübergehende Lagerung der Knollen bei 15°—20° C die Peridermbildung beschleunigt, wählten wir ein Anbauverfahren, bei dem wir mit Sicherheit Kartoffeln mit einer sehr dünnen Schale ernten würden. Dazu wurde Saatgut der Sorten „Heida“ und „Bona“, das Anfang April vom Fachhandel bezogen und bei 5° C gelagert wurde, in der ersten Juliwoche auf Sandboden gepflanzt. Bei der Kultur wurden die normalen Pflegearbeiten, einschließlich Pflanzenschutzmaßnahmen, angewandt.

Die Rodung erfolgte am 3. XI. 1959. Zu diesem Zeitpunkt war das Kartoffelkraut noch nicht abgestorben. Die Knollen hatten im allgemeinen die normale Größe erreicht. Im Aussehen waren sie sehr wohl mit losschaligen Frühkartoffeln vergleichbar. Nach kurzem Abtrocknenlassen wurden die für die Versuche benötigten Knollen aussortiert und für die drei beabsichtigten Behandlungsarten aufgeteilt. Die für die Kühlung vorgesehenen Kartoffeln kamen in einen Kühlraum mit einer gleichbleibenden Temperatur von 5° C und einer relativen Luftfeuchte von 85%. Die für die Mietenlagerung bestimmten Knollen wurden sofort in üblicher Weise gemeinsam mit einer größeren Menge normal geernteter Kartoffeln eingemietet. Mit der Bestrahlung wurde zwei Tage nach der Rodung begonnen; anschließend wurden die 50 Kartoffeln jeder Bestrahlungscharge und zusätzlich 2 × 50 Stück der Kontrollcharge unbestrahlte Kartoffeln einzeln gewogen, nummeriert und in Flachsteigen bei einer konstanten Temperatur von 15° C und einer relativen Luftfeuchte von 85% eingelagert. Um den Schwund der Knollen etwas einzudämmen, wurden die Flachsteigen mit Polyäthylenfolie abgedeckt.

## III. Methodik

Die Kartoffelsorten „Bona“ und „Heida“ wurden mit der gleichen Röntgenanlage bestrahlt, mit der bereits früher Keimhemmungsversuche durchgeführt wurden<sup>1, 2</sup>. Die Röntgenröhre, die mit einem 1 mm starken Berylliumfenster ausgestattet ist, wurde mit 60 kV und 20 mA betrieben. Da sie ohne jedes zusätzliche Filter benutzt wurde, traf der gesamte Strahlenfluß — zum größten Teil langwellige weiche Röntgenstrahlung — die Kartoffeln, die während der Bestrahlung in einer besonderen Schüttelvorrichtung gerollt wurden. Dieses Rollen war erforderlich, damit jeder Punkt der Knolle immer wieder Pol wurde und daher die volle Einfallsdosis erhielt. Die Knollen wurden dabei während der Bestrahlung in einem mit dickem Schaumgummi ausgepolsterten Kasten hin- und hergerollt. Sie stießen verhältnismäßig selten und nur leicht aneinander, ohne daß es zu sichtbaren Verletzungen kam. Der Schaumgummi, mit dem der Kasten der Schüttelvorrichtung ausgekleidet war, enthielt Löcher, deren Durchmesser 15 mm betrug und welche kleiner gewählt waren als der Durchmesser der Kartoffeln. Durch die Löcher im Schaumgummi erhielten die Knollen Drehimpulse in verschiedene Richtungen, so daß ein völliges Umwälzen der Kartoffeln gewährleistet war. Um nun sicher zu sein, daß durch das Wälzen der Kartoffeln auch bei langen Schüttelzeiten von 10 Std und mehr<sup>2</sup> keine meßbaren Veränderungen auftreten, wurden unbestrahlte Kartoffeln mit der *größten angewandten Wälzeit* einem Vergleichsversuch unterworfen. Ein weiterer Kontrollversuch mit unbestrahlten Kartoffeln, die jedoch im *Ruhezustand* die gleiche Zeit unter den gleichen Versuchsbedingungen wie die bestrahlten lagerten, wurde ebenfalls angestellt.

Um einen bestimmten Dosiswert auf den gesamten oberflächennahen Schichten der Knolle zu erreichen, muß man bei der hier angewandten, langwelligen Röntgenstrahlung — entsprechend einer früheren mathematischen Überlegung<sup>1</sup> — die 4fache Einfallsdosis anwenden, wie dies bei einem ebenen Objekt nötig gewesen wäre.

Das Keimgewicht der bestrahlten Kartoffelknollen hängt unter sonst gleichen Versuchsbedingungen von der Höhe der angewandten Strahlendosis ab. Wir ermittelten das Keimgewicht, indem wir nach der Auslagerung (nach 34 Wochen) die Kartoffeln einzeln entkeimten und das Gewicht der Keime bestimmten; außerdem wurde die Knolle ohne Keime gewogen.

Der Schwund der Knolle macht sich meist im äußeren Ansehen der Kartoffel bemerkbar und läßt sich am sichersten als Gewichtsverlust messen. Wir ermittelten den Schwundanteil bei den Bestrahlungspartien bei jeder einzelnen Knolle aus der Differenz zwischen Anfangs- und Auslagerungsgewicht.

<sup>1</sup> BERGER, A.: Zit. S. 215, Anm. 2.

<sup>2</sup> BERGER, A.: Europ. Potato J. 4, 211 (1961).

Um die *Dicke der Schale* bei den Kartoffeln objektiv bestimmen zu können, tauchten wir zum Loslösen der Schale die Kartoffeln etwa 10 min in kochendes Wasser, zogen dann die Schale ab und ließen diese bei Zimmertemperatur trocknen. Dann wurden mikroskopische Schnitte angefertigt und die Stärke der Schale mit Hilfe einer Mikrometerstrichplatte mit einer Ablesegenauigkeit von  $5 \mu$  gemessen. Außerdem ermittelten wir die Schalenstärke der Kartoffeln mit einer Dickenmeßuhr; die damit relativ schnell erhaltenen Werte stimmten annähernd mit denjenigen, die mit Hilfe der Mikrometerplatte gewonnen wurden, überein.

Die Kartoffel ist einer der bedeutendsten Vitamin C-Lieferanten. Es erschien deshalb wichtig zu untersuchen, ob bei den bestrahlten Partien eine Verminderung des *Vitamin C-Gehaltes* eingetreten ist. Da bei der Aufbereitung des Untersuchungsmaterials damit zu rechnen war, daß ein Teil der Ascorbinsäure infolge der vorhandenen Oxydasen zu Dehydroascorbinsäure oxydiert wird, bestimmten wir außer der Ascorbinsäure auch den Gesamtvitamin C-Gehalt. Die Ascorbinsäure bestimmten wir durch Titration mit Dichlorphenolindophenol. Das Gesamtvitamin C ebenso nach Reduktion mit Schwefelwasserstoff (nach EMMERIC und ECKELN).

Durch Vergleich der *Atmungsintensität* ( $\text{mg CO}_2/\text{Std kg}$  Kartoffeln) des unbestrahlten und bestrahlten Versuchsgutes lassen sich Rückschlüsse auf einen abweichenden Stoffwechsel in den bestrahlten Knollen ziehen. Wir bestimmten daher auch die Atmungsintensität der bestrahlten und der Kontrollpartien 8 Wochen nach Versuchsbeginn; zu diesem Zeitpunkt war die Keimbildung bei den Kontrollkartoffeln noch gering. Ein  $\text{CO}_2$ -freier angefeuchteter Luftstrom wurde hierbei durch den mit 50 Kartoffeln gefüllten Behälter geleitet und die von der Luft mitgenommene Atmungskohlensäure in drei Friedrichsflaschen, die mit je  $100 \text{ cm}^3$  0,2 n-Barytlauge gefüllt waren, zu Bariumcarbonat niedergeschlagen. Die umgesetzte  $\text{CO}_2$ -Menge ergibt sich dann aus der Verringerung des Titrationswertes der Barytlauge.

Die Kartoffeln der verschiedenen Partien wurden organoleptisch geprüft. Sie wurden einmal als Salzkartoffeln und in einem weiteren Prüfgang als Pellkartoffeln ohne Schale gereicht. Bewertet wurden: Aussehen, Farbe, Geruch, Geschmack, Formerhaltung und Konsistenz. Die Benotung erfolgte nach dem Karlsruher Bewertungsschema.

#### IV. Ergebnisse

##### 1. Die Keimhemmung bei röntgenbestrahlten Kartoffeln

In der Abb. 1 ist das mittlere Triebgewicht bei der Einzelknolle als Funktion der angewandten Dosis in Röntgen [r] nach einer Lagerzeit von 34 Wochen aufgetragen. Die nach oben und unten gezeichneten Pfeile bei den Meßpunkten sind die berechneten mittleren quadratischen Abweichungen. Sie stellen ein Maß für die biologische Streuung bei jeder Partie dar. Bei der Sorte „Heida“ 1956/1957 sind nur die gemessenen Mittelwerte eingezeichnet. Die links neben der Ordinate gezeichneten Meßpunkte stellen die Werte des Triebgewichts der unbestrahlten Knollen im Zustand der Ruhe und des Rollens dar, die letzteren durch das Kurvenzeichen o gekennzeichnet.

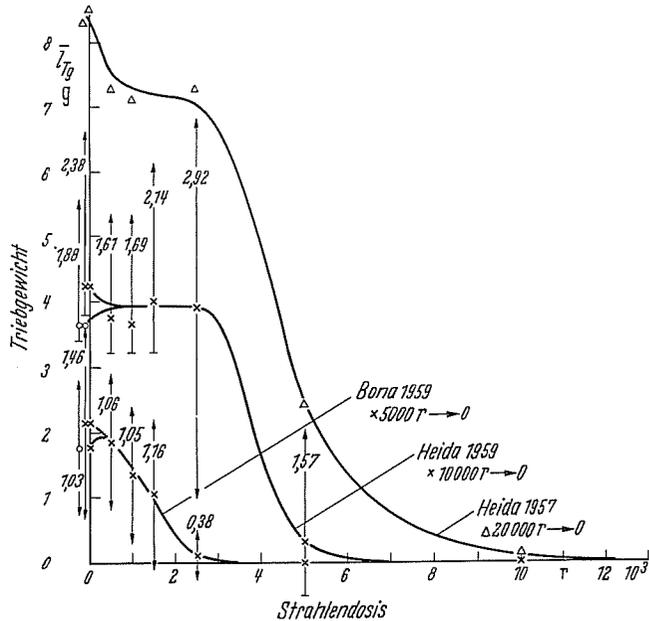


Abb. 1. Triebgewicht von Kartoffeln nach 34 Wochen Lagerzeit bei  $15^\circ \text{C}$  in Abhängigkeit von der angewandten Strahlendosis.  $\times$  unterste Kurve Sorte „Bona“ Ernte 1959, Bestrahlung anschließend;  $\times$  mittlere Kurve Sorte „Heida“ Ernte 1959, Bestrahlung anschließend;  $\Delta$  obere Kurve Sorte „Heida“ Ernte 1956, Bestrahlung März 1957

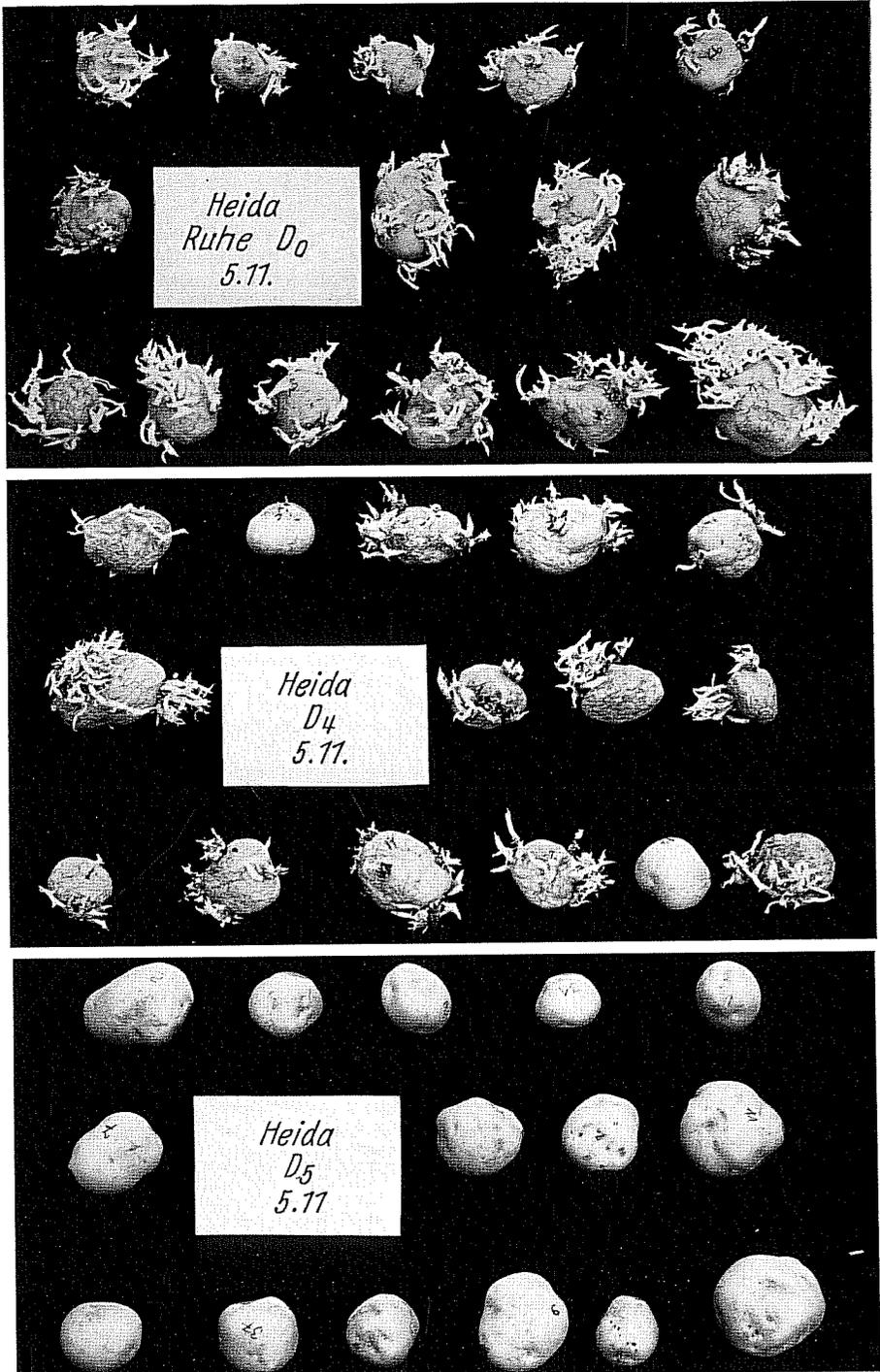


Abb. 2. Photographische Aufnahme der Kartoffelsorte „Heida“ nach 34 Wochen Lagerzeit.  $D_0$  unbestrahlt in Ruhe,  $D_4$  Strahlendosis 2500 r,  $D_5$  Strahlendosis 5000 r

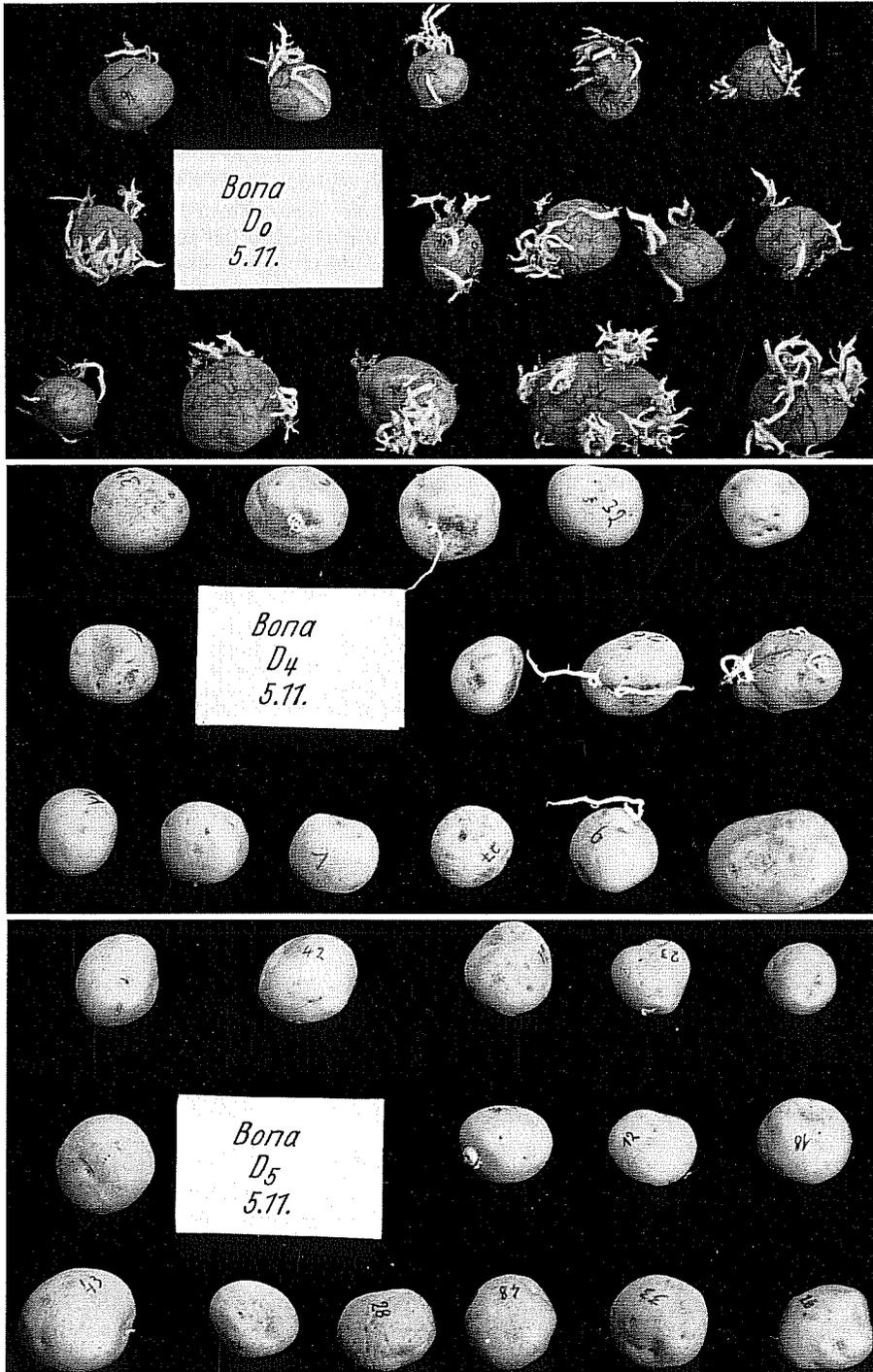


Abb. 3. Photographische Aufnahme der Kartoffelsorte „Bona“ nach 34 Wochen Lagerzeit. D<sub>0</sub> unbestrahlt in Ruhe, D<sub>4</sub> Strahlendosis 2500 r, D<sub>5</sub> Strahlendosis 5000 r

Eine Dosis bis zu etwa 500 r führt bei der Kartoffelsorte „Bona“ — wie aus dem Verlauf der Kurve in Abb. 1 zu sehen ist — noch nicht zu einer Herabsetzung der Keimbildungsgeschwindigkeit, während oberhalb dieses Wertes das mittlere Triebgewicht der Einzelknolle mit steigender Dosis an Röntgenstrahlung rasch abnimmt. Bei 2500 r sind im Durchschnitt je Knolle nur noch 0,1 g Triebe vorhanden, und bei 5000 r ist kein Austrieb mehr feststellbar. Vergleicht man die beiden Kurven Heida 1959 und Heida 1957, so stellt man fest, daß die Abhängigkeit des mittleren Triebgewichts von der Dosis auch bei den im März 1957 bestrahlten Heida-Knollen, die im Herbst des vorangegangenen Jahres geerntet wurden, ähnlich wie bei den bestrahlten Heida-Knollen des Jahres 1959 ist. Zur Keimhemmung der unmittelbar nach der Ernte bestrahlten, dünnschaligen Kartoffeln ist eine bedeutend geringere Strahlendosis erforderlich. Gegenüber den im Herbst geernteten und erst im März bestrahlten Kartoffeln<sup>1</sup> haben die im unmittelbaren Anschluß an die Ernte bestrahlten Knollen eine außergewöhnlich zarte, wenig verkorkte Schale. Sogar nach einer Lagerdauer von 34 Wochen schrumpften die bestrahlten nur wenig ein. Die Kartoffeln hatten vor allem gegenüber den in der Miete und im Kühlraum gelagerten unbestrahlten Knollen ein sehr ansprechendes, dünnschaliges Aussehen (vgl. auch die Fotos der Abb. 2, 3 und 4).

Auf der Abb. 1 ist außerdem das mittlere Triebgewicht der Einzelknolle bei der Kartoffelsorte „Heida“ 1959 aufgetragen. Bei den unbestrahlten Kontrollkartoffeln sind hier zwischen den gewälzten und den in Ruhe befindlichen Knollen ebenfalls

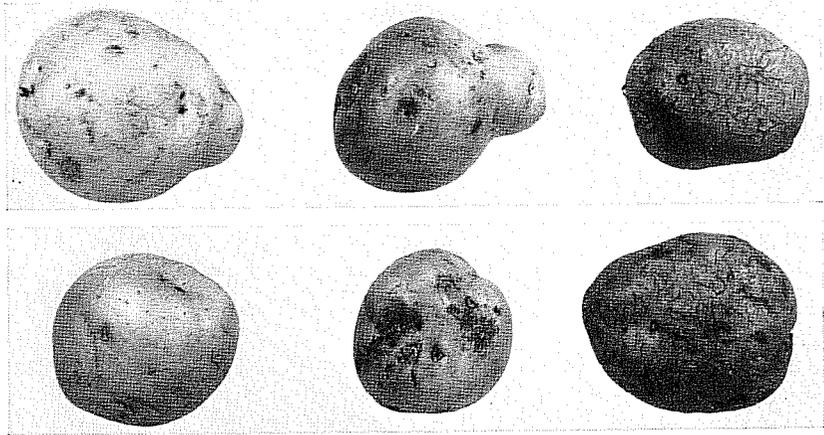


Abb. 4. Photographischer Vergleich bestrahlter, kühlhaus- und mietengelagerter Kartoffeln. Je 2 Kartoffeln übereinander gehören zur gleichen Charge; von links nach rechts: 1. „Heida“ 1959 unmittelbar nach der Ernte bestrahlt, anschließend bei 15° C gelagert; 2. „Heida“ 1959 unmittelbar nach der Ernte kühlhausgelagert, bei 4° C; 3. „Heida“ 1959 unmittelbar nach der Ernte mietengelagert, ab Mai 1960 anschließend bei 4° C kühlhausgelagert

Unterschiede im Triebgewicht festzustellen. Der Betrag der Triebgewichte im unbestrahlten Zustand ist jedoch wesentlich höher als bei der Sorte „Bona“; die Kurve hat auch einen wesentlich anderen Verlauf als bei der vorher erwähnten Sorte. Im Bereich bis zu Dosiswerten von 3000 r bleibt das Triebgewicht der Kartoffeln nahezu konstant, um dann zwischen 3000 und 5000 r stark abzufallen. Außerdem wird deutlich, daß die Kartoffelsorte „Heida“, deren Triebgewicht im unbestrahlten Zustand höher liegt, auch eine wesentlich höhere Strahlendosis für die Keimunterdrückung

<sup>1</sup> BERGER, A.: Zit. S. 215, Anm. 2.

benötigt. In Abb. 1 sind schließlich noch die Meßergebnisse an der Kartoffelsorte „Heida“ (obere Kurve), die im Herbst 1956 geerntet und im März 1957 bestrahlt wurde, eingetragen. In der Zwischenzeit wurden diese Knollen bei 5° C und bei 80 % relativer Feuchtigkeit in einem dunklen Keller gelagert. Bei der Lagerung wurden keinerlei Triebe gebildet. Der Verlauf der Keimhemmung in Abhängigkeit von der angewandten Strahlungsdosis ähnelt bei diesen Kartoffeln derjenigen unserer jetzigen Bestrahlungsversuche, die im unmittelbaren Anschluß an die Ernte erfolgten. Die oben erwähnten Heida-Knollen besaßen jedoch nach der Lagerzeit, die sich über den anschließenden Sommer erstreckte, ein wesentlich höheres Triebgewicht sowohl im unbestrahlten gerollten als auch im unbestrahlten Ruhezustand. Auch die Dosis, die zur totalen Keimreduktion bei „Heida“ 1957 führt, ist 2,5–3mal so hoch wie die beim Bestrahlen unmittelbar im Anschluß an die Ernte erforderliche und beträgt etwa 20000 r. Die Verminderung der zur Keimreduktion notwendigen Dosiswerte sowie das bessere Aussehen nach der langfristigen Lagerung erscheinen uns als die wesentlichsten Vorteile der Kartoffelbestrahlung im unmittelbaren Anschluß an die Ernte.

Untersuchungen in der jüngsten Zeit, die von HENDEL und BURR an  $\gamma$ -bestrahlten Kartoffeln ausgeführt wurden<sup>1</sup>, zeigten bezüglich des Austreibens keinen Unterschied in den Triebgewichten bei einer Veränderung der Zeit zwischen Rodung und Bestrahlung. Für diese Versuche wurde die Sorte „Idaho Russet Burbank“ benutzt, die Lagerzeit zwischen Rodung und Bestrahlung betrug 6 $\frac{1}{2}$ , 22 und 32 Wochen. Allerdings haben die genannten Autoren die Versuche nur bei einer einzigen Dosis von 11000 rad ausgeführt. Dieser Dosiswert liegt schon so hoch, daß die Keime bei den bestrahlten Kartoffeln wegen ihrer Kleinheit fast nicht mehr meßbar sind; HENDEL und BURR geben Triblängen von 0,8–3 mm an. Weiterhin kann die benutzte Strahlenart — die genannten Verfasser benutzten  $\gamma$ -Strahlung, während wir bei unseren Versuchen eine verhältnismäßig weiche Röntgenstrahlung anwandten — eine Rolle spielen; ebenso können die verschiedenen Sorten und Anbaubedingungen zu Abweichungen in den Ergebnissen geführt haben.

## 2. Verkorkung der Kartoffelschale

Eine Strahlendosis, die zur totalen Keimhemmung führt, verzögert bei den dünnschaligen Kartoffeln der Sorten „Bona“ und „Heida“ sehr stark die Peridermbildung. In Abb. 4 ist sehr deutlich die unterschiedliche Verkorkung der Schale (Peridermbildung) der bestrahlten, der kühlhaus- und der mietengelagerten Kartoffeln zu erkennen. Dosen von 10000 und 15000 r unterdrücken bei derartigen Knollen die Peridermbildung fast vollkommen. Sehr wahrscheinlich wird die Teilungsfähigkeit des Phellogen durch die Strahleneinwirkung weitgehend unterdrückt. Durch diese sehr starke Hemmung der sonst zeitlich fortlaufenden Schalenverkorkung bleibt das „frühkartoffelähnliche“ Aussehen über mehrere Monate gut erhalten. Bei den folgenden Untersuchungen betrug die durchschnittliche Schalenstärke der bei 15° C gelagerten und mit 10000 r bestrahlten Kartoffeln 8 Monate nach der Rodung etwa 53  $\mu$ , die der bei 4° C gelagerten 103  $\mu$  und die der mietengelagerten Knollen 154  $\mu$ .

## 3. Schwunderscheinungen bei der Lagerung

Der *Schwund* setzt sich aus dem Wasserverlust und dem Atmungsverlust zusammen. Der Wasserverlust ist hauptsächlich von der relativen Feuchte und der Lagertemperatur dem Atmungsverlust, neben anderen den Stoffwechsel beeinflussenden

<sup>1</sup> HENDEL, C. E., u. H. K. BURR: Food Technol. 15, 218 (1961).

Faktoren, besonders von der Temperatur abhängig. In den Abb. 5 und 6 ist der Schwund als Mittelwert, bezogen auf die Einzelknolle der Sorten „Bona“ und „Heida“,

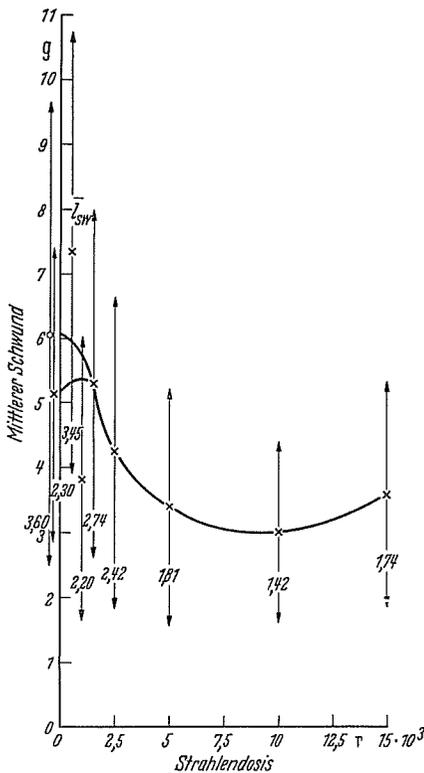


Abb. 5. Mittlerer Schwund  $\bar{l}_{310}$  von Kartoffelknollen Sorte „Bona“, Rodung 1959, nach einer Lagerung von 34 Wochen. Die links neben der  $\bar{l}_{310}$  Achse gezeichneten Meßpunkte stellen die Werte des Schwundes der unbestrahlten Kartoffeln dar:  $\times$  in Ruhe;  $\circ$  gerollt

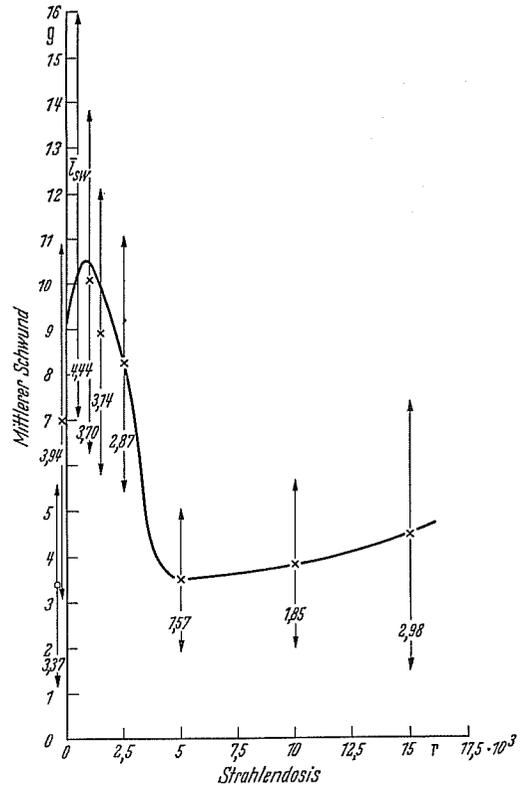


Abb. 6. Mittlerer Schwund  $\bar{l}_{310}$  von Kartoffelknollen der Sorte „Heida“, Rodung 1959, nach einer Lagerung von 34 Wochen. Die links neben der  $\bar{l}_{310}$  Achse gezeichneten Meßpunkte stellen die Werte des Schwundes der unbestrahlten Kartoffeln dar:  $\times$  in Ruhe;  $\circ$  gerollt

in Abhängigkeit von der Dosis aufgetragen. Die gemessenen Werte des Schwundes für die unbestrahlten, gerollten und für die unbestrahlten, in Ruhe gelagerten Knollen sind links neben der Ordinate aufgetragen. Bei beiden Sorten ist die mittlere quadratische Abweichung für jeden Meßpunkt als ein Maß für den Streubereich mit eingezeichnet.

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, beträgt die Dosis, die bei der Sorte „Bona“ (Abb. 1) zu einer völligen Keimunterdrückung führt, etwa 2500 r, wobei das mittlere Triebgewicht der Einzelknolle bis zu diesem Dosiswert ständig abfällt. In Analogie hierzu sinkt auch der mittlere Schwund der Einzelknolle. Der Verlauf des mittleren Schwundes mit ansteigender Dosis ist auch bei den im März, also nach etwa 7 monatiger Lagerung bei 5° C bestrahlten Knollen, wie BERGER<sup>1</sup> gezeigt hat, fast der gleiche wie hier. BURTON<sup>2</sup> fand, daß der Stoffwechsel der Triebe

<sup>1</sup> BERGER, A.: Zit. S. 215, Anm. 2.

<sup>2</sup> BURTON, W. G.: Industr. Refrig. 51, 168 (1954/55).

der Knolle etwa 30–40mal stärker als der der Knollen selbst ist. Daher war zu erwarten, daß der Schwund bis zum Ausbleiben der Triebe mit steigender Dosis abnimmt. Wie aus Abb. 5 ersichtlich ist, sinkt jedoch der Schwund bei der größeren Dosis bis zu etwa 10000 r weiterhin ab, um dann oberhalb 10000 r wieder anzusteigen. Dieses Anwachsen des Schwundes ist bei der Sorte „Heida“ (Abb. 6) schon von etwa 6000 r an zu beobachten. Beide Kartoffelsorten sind spät gepflanzt (erste Juliwoche 1959) und am 3. XI. 1959 geerntet worden. Sie hatten daher eine sehr dünne und sich teilweise ablösende Schale. Die bei unserer Versuchsreihe innerhalb von 2 Tagen nach der Ernte erfolgende Röntgenbestrahlung ergab auch nach einer 34 Wochen dauernden Lagerung Kartoffeln mit nicht stark verkorkter Schale, wie aus den Abb. 2, 3 und 4 und aus der Dickenmessung hervorgeht.

Das Ansteigen des Schwundes mit wachsender Dosis oberhalb einer gewissen Grenze dürfte auf die besonders dünne Schale der frischgeernteten Knolle und die vermutlich durch starke Strahleneinwirkung bedingten Stoffwechselveränderungen zurückzuführen sein. Diese Zunahme des Schwundes ist praktisch nicht von wesentlicher Bedeutung, da sie erst weit oberhalb der für die totale Keimreduktion ausreichenden Dosis beginnt. Es dürfte ohne weiteres möglich sein, den Dosiswert für die Keimunterdrückung so zu wählen, daß der Schwund in annehmbaren Grenzen gehalten wird. Bei Anwendung dieses Verfahrens mit größeren Kartoffelmengen ist damit zu rechnen, daß der Schwund noch weiter herabgesetzt werden kann, da dann günstigere Lagerbedingungen gewählt werden können.

#### 4. Gesamtvitamin C- und Ascorbinsäuregehalt der Knollen zum Zeitpunkt der Auslagerung

34 Wochen nach der Strahlenbehandlung wurde an den bei 15° C gelagerten Kartoffeln der Gesamtvitamin C-Gehalt und der Gehalt an Ascorbinsäure bestimmt. Zu diesem Zeitpunkt konnten wir bei beiden Sorten lediglich bei den Partien, die eine Dosis von 15000 r empfangen hatten, einen um etwa 25% niedrigeren Ascorbinsäuregehalt gegenüber den Kontrollen feststellen (Kontrolle: Gesamtvitamin C 12,8 mg/100 g; Ascorbinsäure 11,4 mg/100 g, 15000 r-Charge: 13,0 mg/100 g bzw. 8,7 mg/100 g). Der Unterschied im Gesamt-Vitamin C dieser Partien war nur gering.

Bei den 2500 r, 5000 r und 10000 r-Chargen konnten wir im Vergleich zu den Kontrollen weder im Gesamt-Vitamin C noch im Ascorbinsäure-Gehalt eine gesicherte Abweichung finden. Dieser günstige Tatbestand sollte bei der Beurteilung dieser Keimhemmungsmethode berücksichtigt werden, da die Kartoffel in vielen Ländern dem Menschen als Grundnahrungsmittel dient und deshalb als wichtiger Vitamin C-Lieferant anzusprechen ist.

#### 5. Messungen der Atmungsintensität

Von den mit 2500 r, 10000 r und 15000 r bestrahlten Kartoffeln der Sorte „Bona“ sowie von der Kontrollecharge, die sämtlich 8 Wochen lang bei einer konstanten Temperatur von 15° C lagerten, wurde die Atmungsintensität bestimmt. Die Atmungsintensität der Knollen der Kontrollpartie betrug zu diesem Zeitpunkt, gemessen an der CO<sub>2</sub>-Ausscheidung, 11,2 mg CO<sub>2</sub>/kg Std. Während die Atmungsintensität der 2500 r-Charge mit 9,7 mg CO<sub>2</sub>/kg Std niedrig lag, war bei der 10000 r-Charge mit 13,6 mg CO<sub>2</sub>/kg Std eine deutliche Erhöhung der Atmungsintensität zu beobachten, die bei der 15000 r-Charge mit 15,3 mg CO<sub>2</sub>/kg Std noch verstärkt in Erscheinung trat; die Kontrollecharge hatte eine CO<sub>2</sub>-Ausscheidung von 8,3 mg CO<sub>2</sub>/kg Std. Für eine Strahlenkonservierung von Kartoffeln wären demnach besonders die Bestrahlungsdosen angebracht, die gerade zur Keimverhinderung ausreichen.

Höhere Dosen führen zu einem für einen Zeitraum von mehreren Monaten anhaltenden anomal verlaufenden Stoffwechsel.

Betrachtet man die Atmungsintensität im Zusammenhang mit dem in unseren Untersuchungen beobachteten, ab der 10000 r-Charge wieder ansteigenden Gewichtsverlust der Kartoffeln (vgl. Abb. 5), so läßt sich dieser Verlust z. T. mit der zunehmenden Atmungsintensität erklären. Bekanntlich werden bei der Atmung organische Substanzen, insbesondere Zucker, unter Aufnahme von Luftsauerstoff zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  abgebaut. Je intensiver also die Atmung ist, um so größer wird der Substanzverlust und damit die Gewichtsabnahme. Als weiterer Gesichtspunkt für ein Ansteigen des Schwundes müßte die Verringerung der Peridermbildung bei höheren Dosen, wie bereits vorher erwähnt, berücksichtigt werden.

### 6. Organoleptische Beurteilung

Am 8. VII. 1960 wurden die bei  $5^\circ\text{C}$  gelagerte, unbehandelte Charge, die bei  $15^\circ\text{C}$  gelagerte Kontrolle und die bei  $15^\circ\text{C}$  gelagerten, strahlenbehandelten Chargen von einer Gruppe von neun Prüfern organoleptisch bewertet. Bei der Beurteilung wurden diejenigen Proben am besten bewertet, auf die eine möglichst niedrige, gerade zur Keimhemmung ausreichende Strahlendosis einwirkte. Bei der Sorte „Bona“ war dies die „2500 r-Charge“, bei der Sorte „Heida“ die „5000 r-Charge“.

Die zu einer Keimverhinderung mit einer gerade ausreichenden Dosis bestrahlten und als Salzkartoffeln gereichten Proben wurden annähernd so gut beurteilt wie die nicht bestrahlten kühlhausgelagerten Kartoffeln. Bei Verwendung als Pellkartoffeln war die Beurteilung auch der mit der niedrigsten Dosis bestrahlten Proben so unbefriedigend, daß es nicht ratsam erscheint, bestrahlte Kartoffeln nach einer 34 Wochen langen Lagerung bei  $15^\circ\text{C}$  als Pellkartoffeln zu benutzen.

### Zusammenfassung

Dünnschalige Kartoffeln der Sorten „Bona“ und „Heida“ wurden unmittelbar nach der Rodung in einer besonderen Schüttelvorrichtung mit ungefilterter Röntgenstrahlung von 60 kV in einem Dosisbereich von 500–15000 r bestrahlt und anschließend gelagert. Als Kontrolle wurden unbestrahlte Kartoffeln der gleichen Sorten und des gleichen Erntezeitpunktes unter den gleichen Versuchsbedingungen bei  $15^\circ\text{C}$  und 85% relativer Luftfeuchte gelagert, von denen eine Charge völlig in Ruhe belassen wurde, während die zweite, unbestrahlte Charge mit der bei 15000 r entsprechenden Bestrahlungszeit geschüttelt wurde.

Die Keimhemmung und -unterdrückung tritt bei derartigen Kartoffeln bei *sehr niedrigen Dosiswerten* ein, wie sie bisher noch nicht beobachtet wurden. Das „*frühkartoffelähnliche*“ Aussehen dieser Knollen konnte über einen Zeitraum von mehreren Monaten erhalten werden.

Der Schwund nimmt mit steigender Dosis infolge verminderten Austreibens ab. Erst bei Dosiswerten, die höher als diejenigen liegen, die zur Keimunterdrückung notwendig sind, ist wieder ein schwaches Ansteigen des Schwundes zu beobachten. Als Ursache für das erneute Ansteigen des Schwundes sind u. a. die starke Verzögerung der Peridermbildung und ein über längere Zeit anomal verlaufender Stoffwechsel anzunehmen. Im Gehalt an Gesamtvitamin C und Ascorbinsäure war bei den Chargen bis zu 10000 r gegenüber den Kontrollen keine gesicherte Abweichung festzustellen. Dagegen wurde bei der 15000 r-Charge bei einer unbedeutenden Veränderung im Gesamtvitamin C-Gehalt eine deutliche Minderung im Ascorbinsäuregehalt gefunden. Auch die Atmungsmessungen bestätigten, daß zur Keimunterdrückung mit möglichst

geringen Dosiswerten gearbeitet werden sollte. Noch zwei Monate nach der Strahlen-  
einwirkung war bei der 10000 r- und verstärkt bei der 15000 r-Charge ein beschleunig-  
ter Stoffwechsel feststellbar. Organoleptisch wurden diejenigen Chargen am besten  
beurteilt, die einer Strahlendosis ausgesetzt waren, die gerade zur Keimhemmung  
ausreichte. Kartoffeln dieser Chargen waren nach längerer Lagerung bei 15° C für  
die Salzkartoffelbereitung hervorragend geeignet, dagegen nicht als Pellkartoffeln.