

Bestrahlung von Lebensmitteln mittels Elektronen

Neuer Elektronen-Linearbeschleuniger im Einsatz

Die ionisierende Bestrahlung von Lebensmitteln ist in Deutschland nicht zugelassen, obwohl hier seit den 50er Jahren auf diesem Gebiet geforscht wurde und 1959 auch die erste kommerzielle Anwendung, nämlich die Entkeimung von Gewürzen, stattfand. Die Bundesforschungsanstalt für Ernährung (BfE) ist mit ihren Forschungsarbeiten zur Lebensmittelbestrahlung weltweit anerkannt und bei der Untersuchung der Nutzung von Elektronenstrahlung führend. Mit der Inbetriebnahme eines neuen Elektronenbeschleunigers, wie er in kommerziellen Bestrahlungsanlagen eingesetzt wird, ist auch ihre Ausstattung nunmehr auf dem neuesten Stand.

Durch Kabinettsbeschluß wurde die damalige Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung zur zentralen Forschungsstelle des Bundes im Be-

trums Karlsruhe neu errichtet. Zur Untersuchung der ionisierenden Bestrahlung von Lebensmitteln waren in den Jahren zuvor eine 120 kV-Hochstrom-Röntgenanlage und ein 1 MeV-van de Graaf-Beschleuniger für Elektronen eingesetzt worden. Mit dem Bezug eines Neubaus wurde damals ein 10 kW/10 MeV-Elektronenbeschleuniger errichtet. Nach über 25 Jahren Betrieb wurde das nun altersschwache Gerät durch einen modernen Beschleuniger ersetzt, wie er in industriellen Bestrahlungsanlagen Verwendung findet (Abb. 1).

Die hohen Aufwendungen, insgesamt 5,5 Mio. DM, wurden nach ausführlicher Diskussion im Haushaltsausschuß des Bundestages genehmigt, um die BfE in die Lage zu setzen, eigenständige und im internationalen Wettbewerb vergleichbare Forschungsarbeiten durchzuführen und mit den so gewonnenen Kenntnissen die Bundesregierung fach-

Die ionisierende Bestrahlung von Lebensmitteln ist ein in der Öffentlichkeit heißumstrittenes Thema. In Deutschland wehren sich Verbraucherverbände vehement gegen die in der Europäischen Union geplanten Zulassungen, die dann für alle Mitgliedsstaaten gelten würden. In anderen Ländern bestehen seit Jahren Zulassungen, die auch kommerziell genutzt werden. So kann etwa der deutsche Tourist in Frankreich nur noch bestrahlte Froschschenkel genießen, weil unbestrahlte aus Gründen der Gesundheitsvorsorge nicht mehr verwendet werden; ein Risiko, das ihm die deutsche Lebensmittelwirtschaft aus ethischen Gründen vorenthält. Aber es gibt auch wesentlich bedeutendere Anwendungen wie etwa die Beseitigung von Krankheitskeimen aus Nordsee- und Tiefseegarnelen in den Niederlanden bzw. zur Weiterverarbeitung bestimmter Geflügelfleischfarce in Frankreich.

Am häufigsten wird die Bestrahlung von Gewürzen und Trockenprodukten angewendet. Diese enthalten praktisch unvermeidbar Mikroorganismen, die zu einem rascheren Verderb der mit diesen Gewürzen zubereiteten Produkte führen. Außerdem können durch Gewürze auch gesundheitsschädliche Keime eingeschleppt werden. Für die Zulassung der Gewürzbestrahlung in Deutschland hat sich schon 1983 der Bundesgesundheitsrat ausgesprochen. Die Gewürzbestrahlung wird inzwischen auch von der International Organization of Consumer Unions, der internationalen Dachorganisation der Verbraucherverbände, akzeptiert.

In den USA wird seit einiger Zeit die ionisierende Bestrahlung eingesetzt, um Geflügelteile von gesundheitsschädlichen Keimen zu befreien. Dies darf dort sogar auf der Packung als 'positive Werbung' angeführt werden. Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt in ihren '10 Goldenen Regeln' bei Geflügel, ob frisch oder gefroren, möglichst bestrahltes zu wählen.

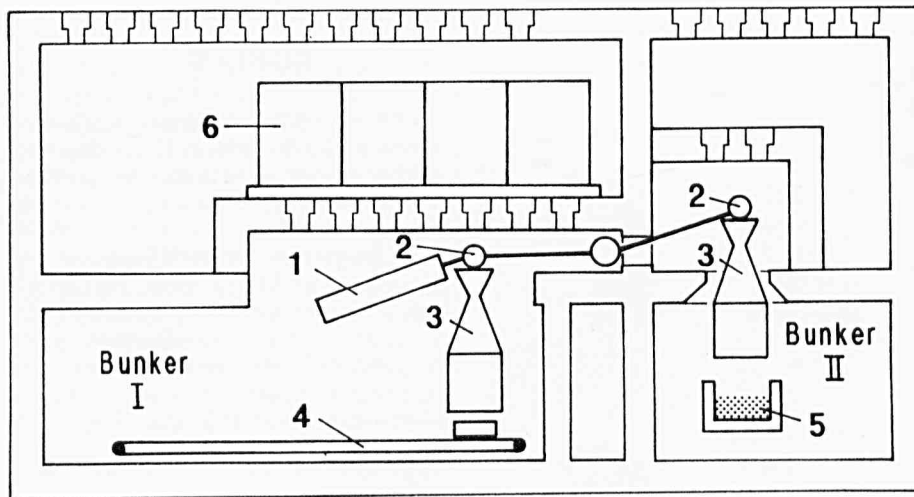


Abb. 1: Schemazeichnung des Karlsruher Beschleunigers: 1 Beschleuniger; 2 Ablenkmagnete; 3 Scanner; 4 Förderband; 5 Schüttgutvorrichtung; 6 Steuerschränke

reich der Anwendungen ionisierender Strahlung auf Lebensmittel bestimmt. Dazu wurde 1966 ein Institut für Strahlentechnologie der Lebensmittel auf dem Gelände des Kernforschungszen-

gerecht beraten zu können. An der weiteren Aufrechterhaltung des Bestrahlungsverbot für Lebensmittel bestand dabei zu keinem Zeitpunkt ein Zweifel.

Vorteile von Beschleunigern

Zur Bestrahlung von Lebensmitteln können nach internationalen Empfehlungen und aus praktischen Gründen eingesetzt werden

- Gammastrahlung der radioaktiven Isotope Co-60 und Cs-137
- Elektronenstrahlung aus Beschleunigern mit Energien bis zu 10 MeV
- Brems- (Röntgen-) Strahlung, erzeugt in Anlagen mit Nennenergien bis zu 5 MeV.

Im Bereich der Sterilisation medizinischer Artikel sind die Co-60-Anlagen weit verbreitet, nur einige Elektronenanlagen sind in Betrieb. Für andere technische Anwendungen, Materialprüfung oder Veredelung von Kunststoffprodukten, sind im großen Umfang Beschleuniger (d.h. Maschinen-Strahlenquellen) im Einsatz. Wenn gegen die Verwendung von Isotopenstrahlenquellen oft vorgebracht wird, der Transport des radioaktiven Materials berge ein zusätzliches Risiko, so entfällt dieses Argument völlig bei abschaltbaren Strahlenquellen. Durch die Beschränkung auf eine Obergrenze von 10 MeV bei Elektronen und von 5 MeV bei Bremsstrahlung entfällt zudem die Möglichkeit, künstliche Radioaktivität in Lebensmittelinhaltsstoffen zu erzeugen (Abb. 2). Aus diesem Grunde wurden an der Bundesforschungsanstalt von Anfang an Beschleuniger bevorzugt. Insbesondere kann man durch die Auswahl einer geeigneten Elektronen-Nennenergie ein Bremsstrahlungsspektrum erzeugen, das bezüglich der Strahlenabsorptionseigenschaften bei Lebensmitteln demjenigen der Isotopenstrahlung im wesentlichen gleichwertig ist. Mit dem Einsatz eines Beschleunigers können also gleichzeitig die Wirkungen auf Lebensmittel für beide Strahlungsarten untersucht werden, was umgekehrt beim Einsatz von Isotopen-Strahlenquellen nicht möglich gewesen wäre. Für den Einsatz von Maschinenstrahlenquellen spricht außerdem, daß der ständig steigende Bedarf nach industriellen Bestrahlungsanlagen schon allein deshalb nicht rasch befriedigt werden kann, weil die Erzeugung des radioaktiven Isotopes Co-60 etwa fünf Jahre dauert und der Bau zusätzlicher Reaktoren zu

diesem Zweck in der nächsten Zeit sehr unwahrscheinlich ist.

Aktuelle Forschungsvorhaben

Die Identifizierung der auf dem Markt befindlichen Lebensmittel als bestrahlt oder unbestrahlt und gegebenenfalls eine Abschätzung der Strahlendosis

erlaubten Bestrahlung nachgeprüft werden, ob die Dosisgrenzen eingehalten wurden. Da dies nur im Einzelfall an einer Probe vom Markt möglich ist, kommt den in der Bestrahlungsanlage erzeugten Protokollen eine große Bedeutung zu. Während für die Gammastrahlung schon vielfältige Erfahrungen vorliegen, müssen ausreichend Daten für die Elektronen- und Röntgenbestrahlung erst noch gesammelt werden. Im Anschluß an die Charakterisie-

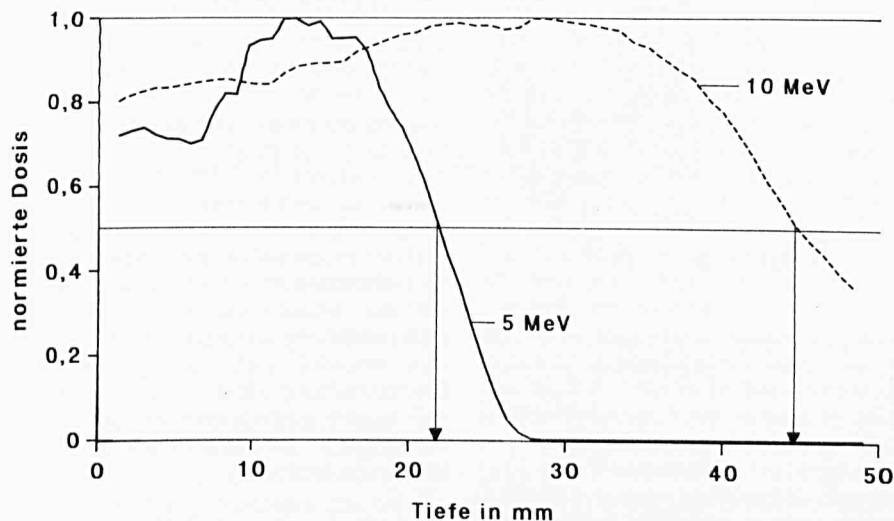


Abb. 2: Tiefendosiscurven für 10 MeV- und 5 MeV-Elektronen; berechnete effektive Energie: 5,07 MeV aus $R_{50} = 21,78$ mm, 10,40 MeV aus $R_{50} = 44,62$ mm

sind ein wichtiges Forschungsvorhaben (vgl. Forschungsreport Nr. 7/1992). Weil die meisten Untersuchungen, auch in internationaler Kooperation mit Gammastrahlenquellen durchgeführt wurden, muß zusätzlich überprüft werden, ob die eingeführten Methoden auch bei Elektronenbestrahlung zuverlässig sind. Die Dosisleistung bei der Elektronenbestrahlung ist um mehrere Größenordnungen höher als bei der Gammabestrahlung. Es ist bekannt, daß viele chemische Reaktionen von der Dosisleistung abhängig sind. Dies gilt vor allem für ein wasserhaltiges Medium, wie es Lebensmittel meist sind. Diejenigen Nachweisverfahren, die auf wasserfreiem, kristallinen Material beruhen, erwiesen sich als weitgehend unabhängig von der Dosisleistung, so z.B. beim Nachweis der Bestrahlung an Knochen mittels Elektronen-Spin-Resonanz.

Nach einer Zulassung der Lebensmittelbestrahlung geht es in der amtlichen Überwachung nicht mehr ausschließlich um die Durchsetzung des Bestrahlungsverbot; vielmehr muß bei einer

Bestrahlung des Strahlenfeldes des Beschleunigers unter Benutzung homogener Probekörper soll künftig für verschieden gepackte Produkte unter Berücksichtigung der Fluktuation der mittleren Dichte die zu erwartende Streuung der Dosis bestimmt werden. Die Kenntnis der zu erwartenden Streuungen gibt die Möglichkeit, aus einer Dosismessung an einer Referenzposition außen auf der Packung auf die zugehörigen Werte für den minimalen und den maximalen Dosiswert im gesamten bestrahlten Gut zu schließen. Solche Untersuchungen werden auch im Rahmen eines von der IAEA koordinierten Forschungsvorhabens durchgeführt. Dabei geht es vor allem um die Frage, welche Aussagekraft außen an der Verpackung angebrachte Dosimeter haben können, die bei einer Kontrolle mit einem speziellen Lesegerät abgelesen werden.

Unter den in Nordeuropa vorherrschenden klimatischen Bedingungen und unter Berücksichtigung der in der Produktion und im Handel mit Lebensmitteln

herrschenden Bedingungen kommen für eine Anwendung der ionisierenden Bestrahlung vor allem hygienische Ziele infrage. Anwendungen zur Eliminierung pathogener Mikroorganismen aus Garnelen, Shrimps, Geflügelfleischfarce und Froschschenkeln sowie zur Reduzierung der Gesamtkeimbelastung einschließlich der pathogenen Mikroorganismen in Trockenprodukten sind bereits in den europäischen Partnerländern Frankreich, Niederlande, Belgien und Großbritannien zugelassen und werden dort auch kommerziell genutzt. An der Bundesforschungsanstalt stehen auf diesem Gebiet Untersuchungen über die Wirksamkeit der ionisierenden Bestrahlung und die Eignung der Elektronenbestrahlung bei Geflügel und Geflügelteilen im Vordergrund. Die ionisierende Bestrahlung hat unter anderem den Vorteil, daß sie durchgeführt werden kann, ohne das Gut aufzutauen. Weil tiefe Temperaturen und hohe Dosisleistung aber eine gewisse Schutzwirkung gegenüber der Strahlenwirkung haben, müssen hier noch die optimalen Bestrahlungsbedingungen und Dosiswerte ermittelt werden. Auf diesem Gebiet wird daher ein Forschungsvorhaben durchgeführt, während sonst zur 'technologischen Wirksamkeit' der ionisierenden Bestrahlung keine Untersuchungen mehr durchgeführt werden, weil alles Wesentliche als geklärt gilt.

Im Rahmen eines internationalen koordinierten Forschungsvorhabens zur Qualitätserhaltung von Paprika und Paprikaprodukten soll auch die ionisierende Bestrahlung eingesetzt werden. Mit ihr kann die Keimbelastung solcher Produkte deutlich reduziert werden. Diese Keimbelastung ist bei landwirtschaftlichen Produkten grundsätzlich unvermeidbar, hat aber teilweise schwerwiegende Auswirkungen auf Produkte, in denen Paprika verwendet wird. Für eine Bestrahlung von Paprika ist der optimale Zeitpunkt im Produktionsprozeß festzustellen. Die Bestrahlungsbedingungen müssen noch so abgestimmt werden, daß möglichst keine Beeinträchtigung von Farbe und Schärfe eintritt und auch während der Lage-

rung Nachwirkungen der Bestrahlung vermieden werden.

Die praktische Eignung von Bremsstrahlung (Röntgenstrahlung) ist ein noch weitgehend unerforschtes Gebiet. Der neue Beschleuniger ist mit Wolfram-Targets ausgestattet, in denen 5 MeV-Elektronen vollständig abgebremst werden, so daß nur noch elektromagnetische Strahlung mit einem breiten Spektrum austritt. Diese Wolfram-Targets werden in den Strahlengang zwischen Scanner und Gut (Abb. 1) gebracht. Die nächste Aufgabe wird es sein, die Energiezusammensetzung im Bremsstrahlungsspektrum zu bestimmen und Filter zu optimieren, mit denen der zu weiche Anteil der Strahlung absorbiert wird, um dadurch eine Überdosis an der Oberfläche des Gutes zu vermeiden. Die Durchdringungsfähigkeit der erhaltenen Strahlung und die möglichen Schichtdicken für die zu behandelnden Produkte zusammen mit der erzielbaren Homogenität der Dosisverteilung sind zu bestimmen. Es wird erwartet, daß beim Einsatz von Bremsstrahlung ähnliche Dosisverteilungen erzielt werden können wie bei der Nutzung von Gammastrahlung aus radioaktiven Isotopen.

Schließlich sollen die Untersuchungen zur Bestrahlung frei-fließender Schüttgüter wieder aufgenommen werden. Dazu müssen zuerst die Arbeiten zur Charakterisierung des Strahlenfeldes auch am Strahlausgang im Bunker II (Abb. 1) vervollständigt werden. Danach kann die Schüttgutanlage wieder aufgebaut werden. Bei der Bestrahlung von solchen Schüttgütern kommt es beim Fließen zu einer gewissen Durchmischung und damit unterschiedlichen Verweilzeiten von einzelnen Partikeln im Bestrahlungsfeld. Durch geeignete Maßnahmen zur örtlichen Beeinflussung der Strömungsgeschwindigkeiten kann die unvermeidbar geringere Dosis in der Tiefe des Gutes (Abb. 2) teilweise ausgeglichen werden. Allerdings sind Verfahren der Prozeßkontrolle für solche Anwendungen erst noch zu ent-

wickeln. Wegen der im Vergleich zur Gammastrahlung geringeren Durchdringungsfähigkeit von Elektronen kommt eine Schüttgutbestrahlung vor allem für Getreide, Gewürze und Trockengemüse in Frage, die nicht in den sonst üblichen Säcken oder Gebinden bestrahlt werden können, bei denen die Schichtdicken des fließenden Gutes aber leicht den Bestrahlungsbedingungen angepaßt werden können.

Ausblick

Elektronenbeschleuniger haben sich bisher gegenüber Gammastrahlenquellen bei der Bestrahlung von Lebensmitteln noch nicht allgemein durchsetzen können, obwohl sie einige Vorteile bieten. Bei einem allgemein steigenden Bedarf an Bestrahlungsanlagen kommt Elektronenbeschleunigern und Röntgenstrahlenquellen künftig eine wachsende Bedeutung zu. Im Bereich des Einsatzes von solchen Maschinenquellen für die Bestrahlung von Lebensmitteln sind noch zusätzliche Untersuchungen nötig. Hierzu gehört die Untersuchung der Eignung von Röntgenstrahlung bezüglich Zusammensetzung des Energiespektrums und Tiefendosisverteilung als auch bezüglich des Wirkungsgrades der Energieumwandlung und damit der Bestrahlungskosten. Bei allen diesen Arbeiten wird der internationale wissenschaftliche Kontakt genutzt und ausgebaut; die gewonnenen Erkenntnisse stehen der Allgemeinheit zur Verfügung und fließen in die Beratung der Bundesregierung bei deren Entscheidungen ein.

*D.A.E. Ehlermann
Bundesforschungsanstalt für Ernährung
Institut für Verfahrenstechnik
Engesser Str. 20
76131 Karlsruhe*