



Abb. 1:  
Radura-Symbol  
für Lebensmittel-  
bestrahlung



Dr. Stephan Barth  
stephan.barth@bfel.de



Dr. Mario Stahl  
mario.stahl@bfel.de

Bundeforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel  
Haid-und-Neu-Strasse 9, 76131 Karlsruhe

# Lebensmittelbestrahlung

Die physikalische Behandlung von Lebensmitteln mit ionisierenden Strahlen kann dazu verwendet werden, die Haltbarkeit von Lebensmitteln zu verlängern und Gesundheitsrisiken durch pathogene Mikroorganismen zu verringern. Die Lebensmittelbestrahlung ist in vielen Ländern genehmigt; der Einsatz ist allerdings marginal. Die Strahlenwirkung auf die Qualität der Lebensmittel wird kontrovers diskutiert. Den aktuellen Stand zur Rechtslage und zur Beeinflussung der Lebensmittel durch den Einsatz ionisierender Strahlen gibt das Interview mit Dr. Stephan Barth und Dr. Mario Stahl von der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Karlsruhe, wieder. Die Fragen stellte Frau Dr. Lechik-Bonnet für die Ernährungs Umschau.

## Grundlagen

### *EU: Was ist Lebensmittelbestrahlung?*

Bei der Lebensmittelbestrahlung wird einem Lebensmittel Energie zugeführt. Diese Energie wird in Form von Gamma-, Röntgen- oder Elektronenstrahlung übertragen. Als Folge werden von Molekülen und Atomen als natürliche Bestandteile der Lebensmittel Elektronen abgegeben, dabei entstehen Ionen. Dieser Prozess wird Ionisation genannt. Daher auch der Name „ionisierende Strahlung“. Es ist sehr wichtig zu betonen, dass durch diese Ionisation **keine künstliche Radioaktivität** im Lebensmittel entsteht.

### *EU: Warum werden Lebensmittel bestrahlt?*

Alle Lebensmittel enthalten unvermeidbar Mikroorganismen. Auch beste Hy-

giene während der Lebensmittelgewinnung und -verarbeitung kann dies nicht verhindern, sondern nur das Ausmaß der Belastung mindern. Salmonellen, Campylobacter, Shigellen und Listerien sind bekannte Verursacher von lebensmittelbedingten Infektionskrankheiten. Will man Lebensmittel konservieren, sollte die Keimbelastung verringert werden. Zur Konservierung wird seit jeher getrocknet, gesalzen, geräuchert oder erhitzt – eine weitere Methode zur Konservierung ist die Behandlung mit ionisierenden Strahlen.

Dieses Verfahren kann die traditionellen jedoch nicht ersetzen, sondern nur sinnvoll ergänzen. Der Einsatz der Bestrahlung ist besonders bei solchen Lebensmitteln vorteilhaft, in denen z. B. durch eine Erhitzung unerwünschte Produkt-

veränderungen ausgelöst werden (Kräuter, Gewürze, Geflügel, Eiprodukte, Hackfleisch etc.). Dabei verändert die Bestrahlung die Qualität und Beschaffenheit der Lebensmittel im Vergleich zur Hitzebehandlung nur geringfügig, was z. B. bei Frischeprodukten sowie tiefgefrorenen Lebensmitteln ein großer Vorteil ist.

### *EU: Wie wirkt Bestrahlung? Wie kommt es zur Verlängerung der Haltbarkeit und/oder Abtötung der Mikroorganismen?*

Die Wirkungsweise der Bestrahlung ist vielfältig und hängt vom bestrahlten Produkt ab sowie von der zugeführten Strahlendosis. So werden durch den Bestrahlungsprozess das Fortschreiten der Auskeimung von Gemüse, der Reifungsprozess von Obst- und Gemüse verzögert und im Produkt enthaltene Schadinsek-

ten sowie mikrobielle Verderbnis- oder Krankheitserreger abgetötet.

Die Wirkung der ionisierenden Strahlen in Bezug auf eine verbesserte Haltbarkeit von frischem Obst und Gemüse sowie Geflügelfleisch, Fisch und Meeresfrüchten wird durch eine effiziente Abtötung von Verderbniserregern wie z. B. *Pseudomonaden* spp. erreicht.

Dabei werden **Mikroorganismen durch zwei Mechanismen inaktiviert**: Zum einen können die durch die ionisierende Strahlung im Lebensmittel erzeugten Elektronen die chromosomale DNA und die Zellmembran von Mikroorganismen verändern und damit das mikrobielle Wachstum hemmen oder sogar zum irreversiblen Zelltod führen. Außerdem tragen die Elektronen zur Bildung von reaktionsfreudigen Ionen und freien Radikalen bei, die ihrerseits mit den Mikroorganismen reagieren können, was die mikrobielle Inaktivierung weiter unterstützt.

Neben der Abtötung von Mikroorganismen werden auch im Lebensmittel selbst lebende Zellen abgetötet, was z. B. bei Kartoffeln und Zwiebeln die Auskeimung verhindert, wodurch diese besser transportfähig und länger lagerfähig bleiben. Für die menschliche Ernährung bestehen insofern keine Risiken durch freie Radiale, als diese innerhalb von wenigen Sekunden nach der Bestrahlung im Lebensmittel abreagieren. Unter streng toxikologischen Gesichtspunkten wie auch aus chemischer, mikrobiologischer, ernährungsphysiologischer und technologischer Sicht wurde daher die Bestrahlung für die entsprechenden Lebensmittelgruppen als geeignet befunden [1].

#### **EU: Hängt die Wirkung der Bestrahlung von der Strahlendosis ab?**

Ja, die biologische Wirkung ist abhängig von der Höhe der zugeführten Strahlendosis sowie im Falle der Abtötung von Bakterien auch von der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit der Mikroorganismen. Sehr effizient lassen sich pathogene Mikroorganismen in Fisch, Fleisch und Meeresfrüchten durch Bestrahlungsdosen zwischen 1,0 und 7,0 kGy abtöten. Bereits die Verwendung einer mittleren Dosis von 2,5 kGy zur Bestrahlung von frischem Geflügelfleisch, das nach guter Herstellungspraxis und somit hygienisch einwandfrei produziert und verarbeitet

wurde, führt zu einer Eliminierung der strahlenempfindlichen *Salmonella* spp. sowie zu einer weitgehenden Abtötung von Verderbniserregern. Wird das Geflügelfleisch im Anschluss an die Bestrahlung bei Temperaturen unter 5°C kühl gelagert, lässt sich die Haltbarkeit durch diese Bestrahlungsdosis gegenüber einem unbestrahlten Produkt verdoppeln.

Wesentlich niedrigere Bestrahlungsdosen von 0,25 bis 1,0 kGy reichen bereits aus, um den Prozess der Reifung von Bananen, Mangos und Papayas sowie das Auskeimen von Kartoffeln, Zwiebeln und Knoblauchknollen zu verzögern. Durch diese niedrige Bestrahlungsdosis von 1,0 kGy werden außerdem Schadinsekten z. B. in Getreideprodukten, Trockenfrüchten und Trockenfisch sowie im Produkt enthaltene Parasiten abgetötet [2].

1 Gray = 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad (alte Einheit).

1 Gy ist damit der Quotient aus der aufgenommenen Energie und der Masse des bestrahlten Körpers.

### Gesetzliches

#### **EU: Welche Länder bestrahlen Lebensmittel?**

Weltweit ist die Bestrahlung vieler verschiedener Lebensmittel in mehr als 60 Ländern zugelassen. In der EU ist die Bestrahlung von Kräutern und Gewürzen in allen Mitgliedsländern erlaubt. Darüber hinaus gibt es einzelstaatliche Regelungen. Eine kommerzielle Bestrahlung in der EU findet hauptsächlich in Belgien, Frankreich und den Niederlanden statt (zusätzlich auch Garnelen, Ei- und Geflügelprodukte, sowie Froschschenkel). In den USA werden größere Mengen an Hackfleisch, Geflügelprodukten, tropischen Früchten sowie Kräutern und Gewürzen industriell bestrahlt.

Der sog. Food Irradiation Clearances Database der IAEA kann man entnehmen, in welchen Ländern welche Lebensmittelklassen und Produkte zu welchem Zweck und in welchem Jahr für die Bestrahlung zugelassen worden sind ([www.nucleus.iaea.org](http://www.nucleus.iaea.org)).

#### **EU: Welche Lebensmittel dürfen in Deutschland bestrahlt, welche in Deutschland verkauft bzw. exportiert werden?**

1999 wurden von der EU zwei Richtlinien (1999/2/EG [3] und 1999/3/EG [4]) erlassen, welche am 14. Dezember 2000 in deutsches Recht umgesetzt wurden. Die **Lebensmittelbestrahlungsverordnung (LMBestrV)** regelt die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen in Deutschland. Das **Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB)** gibt die gesetzliche Regelung bezüglich des Verbringens in das und aus dem Inland vor [5; 6]. So hat das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) gemäß §54 LFGB – bisher für folgende Produkte bezüglich der Behandlung mit ionisierender Bestrahlung eine Allgemeinverfügung ausgesprochen:

- Tiefgefrorene mit ionisierenden Strahlen behandelte Froschschenkel, BVL 06/01/022, Datum: 15.05.2006 [7].
- Frischkäsezubereitung mit bestrahlten Gewürzen. Zu Nr. 1999-013-00, Datum: 18.11.1999 [8].
- Bestimmte, mit ionisierenden Strahlen behandelte Gewürze, die zur Weiterverarbeitung bestimmt sind. Zu Nr. 1997-005-00, Datum: 10.03.1997 [9]

Diese Produkte bzw. Produktgruppen dürfen nach Deutschland verbracht und hier in den Verkehr gebracht werden, wenn sie entsprechend der Vorschriften in einem Mitgliedstaat der Europäischen Gemeinschaft oder einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum rechtmäßig hergestellt oder rechtmäßig in den Verkehr gebracht werden. Das Gleiche gilt für Produkte, die aus einem Drittland stammen und sich in einem Mitgliedstaat der Europäischen Gemeinschaft oder einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum rechtmäßig im Verkehr befinden. Aromatische getrocknete Kräuter und Gewürze dürfen in Deutschland bestrahlt, verkauft und exportiert werden.

#### **EU: Können auch Produkte auf den Markt gelangen, die bestrahlt worden sind, deren Inverkehrbringen in Deutschland aber nicht erlaubt ist?**

Grundsätzlich ja, da die gesetzlichen Kontrollen nicht jedes Produkt erfassen können: In Deutschland ist die Lebensmittelbestrahlung gesetzlich reglementiert (s. o.). Eine Überwachung der Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen unterliegt den kontrollierenden Behörden. Im Falle der Lebensmittelbestrahlung sind dies die staatlichen Untersuchungsämter der einzelnen Bundesländer. Die Überwachung wird erstens in den Bestrahlungsanlagen (z. B. Kontrolle der Einhaltung der absorbierten durchschnittlichen Gesamtdosis) durchgeführt und zweitens durch Kontrollen von Lebensmitteln am Markt oder in weiterverarbeitenden Betrieben ergänzt (z. B. Kennzeichnung). Die in Deutschland einzig zugelassenen Lebensmittel, nämlich die in der Allgemeinverfügung benannten, dürfen bei Import aus Drittländern nur in den Verkehr gebracht werden, wenn die Bestrahlung in einer von der EU zugelassenen Anlage durchgeführt worden ist.

Der Bericht der Kommission über die Bestrahlung von Lebensmitteln für 2004 zeigt, dass in Deutschland 4302 Lebensmittelproben untersucht wurden. Von diesen erfüllten 74, d. h. durchschnittlich 1,7 %, nicht die Anforderungen: 62 waren nicht ordnungsgemäß gekennzeichnet, und bei zwölf Proben wurde eine illegale Bestrahlung nachgewiesen [10].

#### **EU: Wie kann nachgewiesen werden, dass ein Produkt bestrahlt wurde?**

Der Nachweis einer Behandlung mit ionisierender Bestrahlung dient zur Prüfung, ob bestrahlte Lebensmittel ordnungsgemäß mit dem Hinweis „bestrahlt“ oder „mit ionisierenden Strahlen behandelt“ versehen sind und auch um zu kontrollieren, ob Bestrahlungsverbote eingehalten werden. Sowohl nach der EG-Rahmenrichtlinie 1999/2/EG als auch nach der Lebensmittelbestrahlungsverordnung (LMBestV) sollen jährliche Berichte Auskunft über die Ergebnisse der Kontrollen geben, die auf der Stufe des Inverkehrbringens von Lebensmitteln zum Nachweis der Bestrahlung durchgeführt werden.

Ein bestrahltes Lebensmittel sieht aber nicht anders aus, als ein unbestrahltes, es schmeckt auch nicht anders. Wie kann man also feststellen, ob es überhaupt behandelt worden ist? Vor etwa 20 Jahren

konnte man diese Frage noch nicht zufriedenstellend beantworten. Inzwischen wurde eine Reihe von Nachweisverfahren entwickelt. Die Verfahren gehen auf verschiedene physikalische, chemische und biologische Veränderungen in den bestrahlten Lebensmitteln zurück. Zu den physikalischen Verfahren zählt die Elektronenspin-Resonanz-Spektroskopie, die Thermolumineszenz oder die Photostimulierte Lumineszenz.

Chemische Nachweisverfahren sind z. B. die gaschromatographische Messung der strahleninduzierten Veränderungen in Fetten (langkettige Kohlenwasserstoffe oder 2-Alkylzyklobutanone) oder die elektrophoretische Auftrennung von DNA-Fragmenten. Biologische Nachweisverfahren nutzen z. B. die Hemmung der Wurzel- und Sprossbildung oder bei Mikroorganismen den Vergleich der Zahl der keimfähigen Organismen mit der Gesamtzahl an Mikroorganismen [11].

#### **EU: Wie werden bestrahlte Lebensmittel gekennzeichnet?**

In der Lebensmittelbestrahlungsverordnung wird klar auch die Kennzeichnung von bestrahlten Produkten geregelt. Die zugelassenen Produkte müssen von dem, der sie in Verkehr bringt, spätestens bei der Abgabe an den Verbraucher durch die Angabe „bestrahlt“ oder die Angabe „mit ionisierenden Strahlen behandelt“ kenntlich gemacht werden. Dies ist gut sichtbar, in leicht lesbarer Schrift und unverwischbar anzugeben. Häufig wird diese Angabe mit dem sog. Radura Symbol (◆ Abbildung 1) kombiniert, welches im Codex Alimentarius im Code of Practice zur Lebensmittelbestrahlung (Recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods [12]) für die Verfahrensweise bei bestrahlten Lebensmitteln aufgeführt ist.

Sofern das bestrahlte Lebensmittel Zutat eines zusammengesetzten Lebensmittels ist, wie das z. B. bei den Kräutern und Gewürzen einer Pizza sein kann, müssen in den Begleitdokumenten (z. B. Zutatenliste) entsprechende Angaben gemacht werden. Hier ist dann auch noch der Name und die Anschrift der Bestrahlungsanlage oder deren amtliche Referenznummer aufzuzeigen.

## Ernährung

### **EU: Es wird behauptet, verdorbene Lebensmittel werden durch Bestrahlung wieder „aufgefrischt“. Könnten verdorbene Lebensmittel so beeinflusst werden, dass man meint, sie seien frisch?**

Eine „Schönung“ im Sinne einer Auffrischung eines Produkts durch eine Bestrahlung ist nicht möglich. Egetretener Verderb kann durch die ionisierende Bestrahlung nicht rückgängig gemacht werden. In Lebensmitteln durch Bakterien oder Schimmelpilze gebildete Toxine (z. B. Aflatoxin) können durch die Bestrahlung nicht nachträglich eliminiert werden. Nachlässigkeiten in der Hygiene- und Kühlkette bei der Lebensmittelgewinnung und Verarbeitung können durch die Bestrahlung nicht rückgängig gemacht werden. Dies gilt nicht nur für die Lebensmittelbestrahlung, sondern auch für andere Verfahren der Haltbarmachung wie die Pasteurisierung und Tiefgefrierung. Die Bestrahlung ist eindeutig eine Präventivmaßnahme, um das produktspezifische Restrisiko einer mikrobiellen Kontamination zu minimieren und so die Haltbarkeit eines hochqualitativen Frischeproduktes zu verbessern [13].

### **EU: Werden alle pathogenen Keime abgetötet?**

Die Lebensmittelbestrahlung führt innerhalb der zugelassenen Dosisbereiche zu einer weitgehenden, jedoch nicht vollständigen Abtötung aller Mikroorganismen. Während des Schlachtvorganges sowie der weiteren Verarbeitung von frischen Fleischprodukten kann auch bei einer geschlossenen Hygiene- und Kühlkette nicht ausgeschlossen werden, dass neben nicht-pathogenen Verderbniserregern der *Pseudomonas-Moraxella-Acinetobacter*-Gruppe und *Lactobacillus spec.* auch pathogene Bakterien wie *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* sowie Sporen von *Clostridium perfringens* in das Fleisch gelangen. Die Strahlenempfindlichkeit dieser Bakterienarten ist unterschiedlich und hängt neben der Art der Lebensmittelmatrix (z. B. Wassergehalt), dem physikalischen Zustand des Lebensmittels (gefroren, nicht gefroren), auch von der Temperatur und der Sauerstoffkonzentration während der Bestrahlung ab [2].

**EU: Welchen Einfluss hat die Bestrahlung auf den Vitamingehalt?**

Das Erhitzen von Lebensmitteln wie auch die Bestrahlung zur Haltbarmachung bewirkt einen Vitaminverlust im Lebensmittel. Da die Bestrahlung jedoch ein „kalter“ Prozess ist, sind diese Effekte im Vergleich zu thermischen Konservierungsverfahren (Pasteurisieren, Kochen) zum Teil schwächer ausgeprägt. Dabei ist die Strahlensensitivität für die einzelnen Vitamine unterschiedlich. Die Vitamine E und A sind sensitiver als die Vitamine D und K. Bei den wasserlöslichen Vitaminen ist das Vitamin B<sub>1</sub> neben Vitamin C sensitiver als Folsäure und Vitamin B<sub>12</sub>. Diese Strahlensensitivität hängt weiterhin von der Lebensmittelmatrix und der Temperatur sowie dem Sauerstoffgehalt der Atmosphäre während der Bestrahlung ab. Das Vitamin B<sub>1</sub> wird in einer wässrigen Lösung bei Bestrahlung mit einer Dosis von 0,5 kGy um 50 %, in einem mit 0,5 kGy bestrahlten Trockeneiprodukt nur um 5 % abgebaut. Dieser Effekt kann durch Kühlung des Lebensmittels während der Bestrahlung weiter abgeschwächt werden.

**EU: Werden Lipide im Lebensmittel durch die Bestrahlung verändert?**

Bei der Bestrahlung mit Gammastrahlen werden im Lebensmittel sog. Sauerstoffradikale gebildet, die als sehr reaktive Moleküle mit Membranlipiden und anderen zellulären Fetten im Lebensmittel zu Lipidoxiden reagieren können. Diese Lipidoxide sind – in höherer Menge – für geschmackliche Abweichungen des Lebensmittels verantwortlich. Dies ist auch der Grund dafür, dass sehr fetthaltige Lebensmittel wie z. B. fettreiche Fischarten, aber auch Milchprodukte für die Lebensmittelbestrahlung wenig geeignet sind. Allerdings ist bekannt, dass die Bildung dieser Lipidoxide durch sauerstoffarme Atmosphäre sowie Kühlung während der Bestrahlung reduziert werden kann. Auch eine Beimischung von Antioxidanzien wie z. B. Vitamin E oder Carnosin kann die Bildung von Lipidoxiden in fettreichen Produkten reduzieren.

**EU: Manche Aminosäuren sollen strahlenempfindlich sein. Ändert sich die biologische Wertigkeit von Proteinen?**

Prinzipiell können Aminosäuren nicht nur durch Erhitzung, sondern auch durch die Energiezufuhr einer Bestrahlung durch Desaminierung, Decarboxylierung sowie durch Oxidation der Sulfhydryl- und aromatischen Gruppen verändert werden. Allerdings geschieht dies verstärkt nur bei sehr hohen Bestrahlungsdosen, die in der Lebensmittelbestrahlung nicht zugelassen sind. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass durch die üblichen Bestrahlungsdosen im Rahmen der Lebensmittelbestrahlung (bis 10 kGy) das Aminosäureprofil nicht so stark verändert wird, dass dies die biologische Wertigkeit von Proteinen herabsetzen würde.

**EU: Können durch die Bestrahlung gesundheitsschädliche Substanzen entstehen?**

Ähnlich wie beim Erhitzen von Lebensmitteln sog. thermolytische Produkte entstehen, ist dies auch bei der Bestrahlung der Fall. Bislang haben alle Studien die zur Risikobewertung der sog. Radiolyse-Produkte durchgeführt wurden bestätigt, dass die in bestrahlten Lebensmitteln vorkommenden geringen Mengen gesundheitlich unbedenklich sind. Unterstützt werden diese Ergebnisse von umfangreichen Fütterungsversuchen und humanen Interventionsstudien mit bestrahlten Lebensmitteln, die keine Hinweise auf toxiologische Effekte bei einem Verzehr bestrahlter Lebensmittel über einen langen Zeitraum liefern.

**Ausblick****EU: Welche Zukunft hat die Bestrahlung von Lebensmitteln?**

Die gesundheitliche Zuträglichkeit bestrahlter Lebensmittel ist geklärt, hierzu gibt es eine Reihe von Stellungnahmen des (früheren) Lebensmittelausschusses (SCF) der Europäischen Kommission, vieler anderer nationaler Gremien einschließlich der (dafür zuständigen) Fremdstoffkommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in Deutschland, aber auch der Weltgesundheitsorganisation WHO [14]. 1980 haben Experten der WHO festgestellt, dass eine Bestrahlung von bis zu 10 kGy möglich ist, ohne dass ein Lebensmittel gesundheitsgefährdend wirkt oder relevante Mengen

an Nährstoffen verliert. Dieser Grenzwert wird bei der Bestrahlung von Lebensmitteln in der EU nicht überschritten.

In Deutschland wie in anderen europäischen Ländern steigen die lebensmittelbedingten Infektionen weiterhin an, wie die amtlichen Statistiken belegen. Auch Bio- und Öko-Lebensmittel sind hiervon nicht ausgenommen. Offensichtlich reichen die bisherigen, bewährten Verfahren nicht aus, die produktspezifischen Probleme zu bewältigen. Dabei hat die Einführung neuer Hygiene-Konzepte, wie sie etwa in der Hühnerverordnung zum Ausdruck kommen, durchaus den Anstieg der Erkrankungen gebremst. Die ionisierende Bestrahlung könnte aber als „Kritischer Kontroll-Punkt“ eines solchen Hygiene-Konzeptes sehr gezielt und wirksam eingesetzt werden, wie das Beispiel Hackfleisch in den USA beweist. Auch eine Bestrahlung von Geflügelfleisch, das als ein Hauptauslöser von Salmonellen anzusehen ist, wäre sinnvoll.

Die Prüfung der ionisierenden Bestrahlung an unterschiedlichen Lebensmitteln ergab, dass das Verfahren in den vorgeschlagenen Zulassungen technisch notwendig und wirksam ist [15;14;16;17; 18;19]. Aus diesem Grund ist es in vielen Ländern auch zugelassen und wird international in zunehmendem Maße auch genutzt. Schon unter dem Gesichtspunkt der Folgen des Abkommens der Welthandelsorganisation (freier Welthandel) ist zu berücksichtigen, dass der Codex Alimentarius im Lebensmittelbereich verbindlich ist. In seinem Standard über bestrahlte Lebensmittel ist keine Beschränkung auf bestimmte Lebensmittel vorgesehen. Damit gelten alle Einschränkungen als technische Handelshemmnisse und sind ein Verstoß gegen das TBT-Abkommen (Technical Barriers to Trade). Wenn auch in Deutschland und anderen Ländern das Verfahren noch mit Zurückhaltung angewandt wird, so ist dennoch anzunehmen, dass es langfristig zu einem vermehrten Einsatz kommen wird. Die entsprechende Aufklärung und freie Wahl des Verbrauchers bezüglich entsprechend gekennzeichnete Lebensmittel sind dazu eine notwendige Voraussetzung.

Die Literatur zu diesem Artikel finden Sie im Internet unter [www.ernaehrungs-umschau.de](http://www.ernaehrungs-umschau.de).