

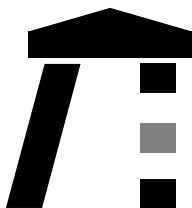
**DFG - Senatskommission zur  
gesundheitlichen Bewertung  
von Lebensmitteln**

*Prof. Dr. G. Eisenbrand - Vorsitzender*

**SKLM**

**Stellungnahme zur Hochspannungsimpulsbehandlung von  
Lebensmitteln**

Endfassung vom  
13. März 2007



*Technische Universität Kaiserslautern, FB Chemie  
Lebensmittelchemie und Umwelttoxikologie  
Erwin-Schrödinger-Straße 52  
67663 Kaiserslautern*

*Die AG „Lebensmitteltechnologie und –sicherheit“ der DFG-Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln (SKLM) befasst sich mit neue Technologien, die für die Lebensmittelverarbeitung entwickelt werden bzw. in Anwendung kommen, in Bezug auf die Lebensmittelsicherheit. Ein neues Verfahren ist das Hochspannungsimpulsverfahren, für das in Europa bisher nur Anwendungen im Versuchsmaßstab vorliegen. Das Verfahren hat beispielsweise die schonende und effektive Gewinnung von zellulären Inhaltsstoffen und auch die schonende Pasteurisierung von Fruchtsäften zum Ziel, wobei über die damit verbundenen elektrochemischen Vorgänge noch unzureichende Erkenntnisse bestehen. Die SKLM hat am 13. März 2007 folgende Stellungnahme verabschiedet.*

## **Stellungnahme zur Hochspannungsimpulsbehandlung von Lebensmitteln**

### **1 Einführung**

Das Hochspannungsimpulsverfahren (Pulsed Electric Fields – PEF) stellt ein neues bisher noch im Versuchs- bzw. Pilotstadium befindliches Verfahren in der Lebensmitteltechnologie dar, welches zur Entkeimung von Lebensmitteln oder zur effektiven Gewinnung zellulärer Inhaltsstoffe genutzt werden kann.

Bevor mit dem PEF-Verfahren behandelte Lebensmittel in der Europäischen Union (EU) in den Verkehr gebracht werden können, ist zu prüfen, ob sie in den Geltungsbereich der am 15. Mai 1997 in Kraft getretenen Verordnung (EG) Nr. 258/97 [1] über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten fallen. Als neuartig anzusehen - und nach Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 258/97 genehmigungspflichtig - sind

*„Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, bei deren Herstellung ein nicht übliches Verfahren angewandt worden ist und bei denen dieses Verfahren eine bedeutende Veränderung ihrer Zusammensetzung oder der Struktur der Lebensmittel oder der Lebensmittelzutaten bewirkt hat, was sich auf ihren Nährwert, ihren Stoffwechsel oder auf die Menge unerwünschter Stoffe im Lebensmittel auswirkt.“*

Bereits beim Inverkehrbringen hochdruckbehandelter Lebensmittel hat sich gezeigt, dass umfangreiche Untersuchungen nötig sind, um entscheiden zu können, ob die so behandelten Produkte dem Geltungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 258/97 zuzuordnen sind [2].

Für den Fall, dass das PEF-Verfahren bedeutende Veränderungen mit Auswirkungen auf den Nährwert, Stoffwechsel oder die Menge unerwünschter Stoffe im Lebensmittel bewirkt, ist die Sicherheitsbewertung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 vorzunehmen (siehe ANNEX 1).

Bisher sind noch keine Zulassungen für PEF-behandelte Lebensmittel in der EU erfolgt. Erste Versuche im Pilotmaßstab zeigen Perspektiven für mögliche Anwendungen, z.B. schonende Pasteurisierung von Fruchtsäften oder Erzielung höherer Produktausbeuten (Säfte, Zuckergewinnung, Ölausbeute) [3-6].

## **2 Verfahrenstechnische Aspekte**

Beim Hochspannungsimpulsverfahren werden durch schlagartige Entladung eines Kondensators Hochspannungsimpulse erzeugt, die über Elektroden an das Lebensmittel übertragen werden. Die Anordnung und Geometrie der Elektroden bestimmt den Verlauf der Feldlinien und damit die Homogenität des elektrischen Feldes. Bei Elektroden, die in direktem Kontakt mit dem zu behandelnden Lebensmittel sind, kommt der Auswahl des Elektrodenmaterials- bzw. dessen Beschichtung erhebliche Bedeutung zu [7]. Allerdings reichen die Angaben bezüglich der Auslegung unterschiedlicher Anlagen und der verwendeten Prozessparameter in der Regel nicht aus, um zuverlässige Aussagen zur Bewertung von Daten aus der Literatur zu gewinnen [8, 9]. Solche Parameter sind z.B. die elektrische Feldstärke, die Impulsform, –dauer, -anzahl und Repetitionsrate der spezifische Energieeintrag sowie die Produkterwärmung und Temperaturverteilung in der Behandlungszelle. Vielfach können zudem elektrochemischen nicht von lokal auftretenden thermischen Effekten unterschieden werden. Die elektrische Leitfähigkeit des zu behandelnden Produktes ist ebenso von Einfluss wie die Feldverteilung, die z.B. durch Freisetzung gelöster Gase [10] oder durch die Produktzusammensetzung und –konsistenz beeinflusst wird [11]. Als Maß für die vergleichende Bewertung der Behandlungsintensität verschiedener PEF-Verfahren erscheinen nach bisherigen Untersuchungen die elektrische Feldstärke sowie der spezifische Energieeintrag in Kombination mit der Behandlungstemperatur geeignet. (Verfahrenstechnische Aspekte, siehe ANNEX 2)

## **3 Mikrobiologische Aspekte**

Für ein breites Spektrum an Mikroorganismen in verschiedenen Produkten liegen Inaktivierungskinetiken vor. Vegetative Zellen lassen sich durch Hochspannungsimpulse inaktivieren, Sporen bleiben weitgehend unbeeinflusst [4]. Die Geometrie der Mikroorganismenzellen beeinflusst das Inaktivierungsverhalten, kleinere Zelldurchmesser zeigen eine höhere Resistenz [9; 11]. Es deutet sich an, dass die Inaktivierungsmechanismen hauptsächlich membranvermittelt sind.

Die Vorgänge während der PEF-Behandlung in den Mikroorganismenzellen wurden beispielsweise mit Hilfe eines elektromechanischen Modells beschrieben. Detaillierte Modelle der Elektropermeabilisierung berücksichtigen u. a. zusätzlich die Erweiterung bereits vorhandener Membrandefekte bzw. die Öffnung von Proteinkanälen durch das gepulste elektrische Feld. Es wird davon ausgegangen, dass eine erste reversible Induktion von Poren durch bereits vorhandene, statistisch verteilte Membrandefekte begünstigt wird. In einem zweiten Schritt entstehen irreversible Poren, die stabilisiert werden, was zum dauerhaften Verlust der Semipermeabilität der Zellmembran führt. Diese Reorganisation und

Permeabilisierung der Membran kann bis zu 20 sec. dauern und führt zum Verlust der Zellvitalität [12-16].

Gegen PEF resistente Fraktionen vegetativer Zellen wurden bisher nicht beobachtet, subletale Schädigungen wurden vereinzelt beschrieben. Durch Kombination von PEF mit anderen Verfahren/ Verfahrensparametern lassen sich synergistische Effekte auf die Inaktivierung von Mikroorganismen erzielen [3, 17-20].

Im Gegensatz zum in der Molekularbiologie verwendeten Verfahren der Elektroporation zum Einschleusen von genetischem Material in Zellen ist eine PEF-vermittelte Transformation von vegetativen Mikroorganismen in Lebensmitteln unwahrscheinlich. Zum einen ist die Dichte an kompetenten Zellen zu niedrig und zum anderen ist kaum replikationsfähige DNA vorhanden. Darüber hinaus liegt kein Selektionsdruck vor. Eine Transformation pflanzlicher oder tierischer Zellen im Lebensmittel ist aufgrund geringer Überlebensrate bzw. fehlender Regenerationsfähigkeit nicht relevant.

#### **4 Chemische Aspekte: Veränderungen von Lebensmittelinhaltsstoffen**

Bisher liegen nur wenige Ergebnisse aus Untersuchungen zum Einfluss von Hochspannungsimpulsen auf Lebensmittelinhaltsstoffe vor. PEF-Verfahren sind von elektrochemischen Stoffumwandlungen sowie von der Elektrolyse des Wassers begleitet. Die sich daraus ableitenden direkten/indirekten Veränderungen können die Zusammensetzung des Lebensmittels und damit die Qualität beeinflussen. Das Auftreten unerwünschter chemischer Reaktionen kann aber vor allem bei ungünstiger Prozessführung nicht ausgeschlossen werden (vgl. Annex 3).

So ist bei den auftretenden hohen elektrischen Feldern während der PEF-Behandlung prinzipiell mit reaktiven Zersetzungsprodukten von Wasser und dem Auftreten reaktiver Sauerstoffspezies zu rechnen [21]. Darüber hinaus ist auch eine direkte oder indirekte Bildung oder ein Eintrag toxischer Substanzen aus Elektrodenmaterial denkbar. Eine Beeinträchtigung der Qualität des Lebensmittels, z. B. durch Abbau wertgebender Inhaltsstoffe aber auch durch Bildung unerwünschter Substanzen ist nicht auszuschließen.

Erste Untersuchungen zur Veränderung von wertgebenden Inhaltsstoffen und sensorischen Eigenschaften durch PEF-Behandlung liegen für Frucht- und Gemüsesäfte vor. In PEF-behandeltem Orangensaft wurden höhere Gehalte an Aromastoffen und Vitamin C beobachtet als in hitzebehandeltem Saft [22]. Der Carotinoid- und Flavanongehalt in Orangensaft wurde dagegen durch PEF nicht beeinflusst [23]. Bei Tomatensaft wurden verbesserte Farb- und sensorische Eigenschaften nach PEF-Behandlung im Vergleich zur thermischen Behandlung beschrieben [24]. Untersuchungen von Apfelsäften, bei deren Herstellung gepulste elektrische Felder eingesetzt wurden, zeigten im Vergleich mit

herkömmlich hergestellten Apfelsäften keine Unterschiede bezüglich der untersuchten Qualitätsparameter wie z.B. Phenolgehalt, Gesamtsäuregehalt, Trubstabilität [25]. Es kann von substantieller Äquivalenz nach Verordnung (EG) 258/97 ausgegangen werden.

Zur Inaktivierung von *Enzymen* durch PEF liegen widersprüchliche Ergebnisse vor [16, 26-33]. Ursachen der Enzyminaktivierung sind noch nicht geklärt. Eine Beeinflussung der Proteinstruktur durch externe elektrische Felder, aber auch das Auftreten elektrochemischer Reaktionen werden diskutiert. Eine Verminderung der Aktivität einer Protease aus *Bacillus subtilis* in einem simulierten Milchultrafiltrat durch PEF um bis zu 62 % wurde beobachtet [34]. Im Gegensatz dazu wurden die Aktivitäten von Lipxygenase, Polyphenoloxidase, Pektinmethylesterase und Peroxidase durch PEF-Behandlung bei Raumtemperatur nur geringfügig vermindert [35]. Eine in flüssigen Milchprodukten, Frucht- und Gemüsesäften beobachtete Inaktivierung dieser Enzyme wurde auf thermische Effekte zurückgeführt [36].

Es wurde gezeigt, dass Geleigenschaften von Hühnereiweiß durch PEF nicht signifikant geändert wurden. Auch  $\beta$ -Lactoglobulin und Ovalbumin wurden durch PEF-Behandlung nicht aggregiert oder entfaltet [37].

Bisher liegen nur begrenzte Untersuchungen zur Haltbarkeit PEF - behandelte Lebensmittel vor [24, 38].

## **5 Aspekte der Allergenität**

Die Allergenität von Lebensmittelinhaltsstoffen kann durch technologische Prozesse beeinflusst werden, wobei häufig eine Verminderung, selten eine Erhöhung der Allergenität beobachtet wird [39, 40]. Wärmebehandlung führt in der Regel im Vergleich zum PEF-Verfahren zu deutlich stärkeren Veränderungen der Inhaltsstoffe von Lebensmitteln [41, 42]. Bei Lebensmitteln mit hohem Wasseranteil, z.B. Obst und Gemüse wurde keine Verstärkung der Allergenität durch Verarbeitungsprozesse gefunden. Unter der Annahme, dass das PEF-Verfahren im Vergleich zum Garen von Lebensmitteln relativ unbedeutende Veränderungen an Lebensmittelproteinen auslöst, ist eine allenfalls geringe Beeinflussung der Allergenität zu vermuten. In diese Richtung deuten Untersuchungen, die an Sellerie durchgeführt wurden. Das allergene Potential von Sellerie nach Behandlung mit Hochspannungsimpulsen lag zwischen jenem von unbehandeltem rohem einerseits und gekochtem bzw. in der Mikrowelle gegartem andererseits [43].

Werden Zellen durch das PEF-Verfahren nicht letal geschädigt, so ist nicht auszuschließen, dass es durch das Verteidigungssystem der Pflanze zur stressinduzierten Bildung von sekundären Metaboliten und zur Induktion von „Pathogenesis Related Proteins“ (PR) kommen könnte [44]. Da PR-Proteine ein hohes allergenes Potenzial besitzen können, ist

das Verfahren so auszulegen, dass deren Bildung als Folge der PEF-Behandlung vermieden wird.

Angesichts des Mangels an fundierten wissenschaftlichen Studien sind derzeit aber generelle Aussagen zur Modulation des allergenen Potenzials durch PEF-Behandlung nicht möglich.

## **6 Sicherheitsaspekte / Bewertungskriterien**

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt reichen die Kenntnisse über die Auswirkungen des PEF-Verfahrens auf unterschiedliche Lebensmittelmatrices für eine generelle Sicherheitsbewertung des Verfahrens nicht aus. Daher müssen die mit dem PEF-Verfahren behandelten Produkte oder Produktgruppen jeweils einer Einzelfallprüfung unterzogen werden.

Das PEF-Verfahren ist in seinen technischen Parametern so zu beschreiben, dass eine zuverlässige Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit der behandelten Lebensmittel möglich ist. Das betrifft zum einen den Prozess selbst (elektrische Feldstärke, spezifischer Energieeintrag, Dauer, Temperatur, pH, Auslegung der Hochspannungszelle usw.), zum anderen ist ein möglichst vollständiges Profil der im Lebensmittel durch PEF induzierten chemischen/biochemischen/mikrobiologischen Veränderungen zu erstellen, um den wissenschaftlichen Vergleich mit traditionellen bzw. zugelassenen Verfahren der Lebensmittelbehandlung zu ermöglichen.

Insbesondere ist dabei der Frage nachzugehen, in wie weit durch Elektrolyse des Wassers bzw. Entstehung von reaktiven Sauerstoff- oder anderer Spezies prozessbedingte nachteilige Veränderungen auftreten.

Weitergehende Fragen, die zu beantworten sind, betreffen auch den möglichen Einfluss auf die Allergenität von Lebensmitteln bzw. eine unerwünschte Beeinflussung von Proteinen im Sinne einer Generierung/Stabilisierung proteolyseresistenter Konformationen.

## **7 Schlussbemerkung**

Das PEF-Verfahren ermöglicht über die Permeabilisierung von Zellmembranen eine effektive Gewinnung zellulärer Inhaltsstoffe und die Abtötung von Mikroorganismen in Lebensmitteln. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten der Rohstoffausnutzung und der Keimreduktion.

Die Zahl fundierter Untersuchungen ist in allen Teilbereichen begrenzt, und eine einheitliche Bewertung des PEF-Verfahrens ist wegen fehlender Standardisierung von Prozessparametern erschwert. Für die Entwicklung von Kriterien zur Bewertung des Prozesses bzw. PEF-behandelter Lebensmittel ist u. a. eine Charakterisierung von geeigneten Leitsubstanzen und Messparametern dienlich. Produkte aus PEF-Verfahren bedürfen nach den unter Kap. 6 genannten Beurteilungskriterien einer Einzelfallbewertung.

## 8 Literatur

- 1 Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 43/1, 14.2.973.
- 2 DFG-SKLM: Sicherheitsbewertung des Hochdruck-Verfahrens, 6.12.04
- 3 Heinz, V., S. Toepfl, and D. Knorr, *Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment*. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2003. 4(2): p. 167-175.
- 4 Knorr, D., et al., *Food application of high electric field pulses*. Trends in Food Science and Technology, 1994. 5: p. 71-75.
- 5 Eshtiaghi, M.N. and D. Knorr, *High electric field pulse treatment: potential for sugar beet processing*. Journal of Food Engineering, 2002. 52: p. 265-272.
- 6 Guderjan, M., et al., *Impact of pulsed electric field treatment on the recovery and quality of plant oils*. Journal of Food Engineering, 2005. 67(3): p. 281-287.2.
- 7 Tomov, T. and T. I., *Are the stainless steel electrodes inert?* Bioelectrochemistry, 2000. 51: p. 207-209.
- 8 Zhang, Q., G.V. Barbosa-Canovas, and B.G. Swanson, *Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization*. Journal of Food Engineering, 1995. 25: p. 261-281.
- 9 Heinz, V., et al., *Preservation of liquid foods by high intensity pulsed electric fields-basic concepts for process design*. Trends in Food Science and Technology, 2002. 12: p. 103-111
- 10 Góngora-Nieto, M.M., et al., *Impact of air bubbles in a dielectric liquid when subjected to high electric field strengths*. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2003. 4: p. 57-67.
- 11 Toepfl, S., V. Heinz, and D. Knorr. *Optimization of pulsed electric field treatment for liquid food pasteurization*. in *European Pulsed Power Symposium 2004*. 2004. Hamburg, Germany: Shaker, Aachen.
- 12 Zimmermann, U., et al., *Effects of external electrical fields on cell membranes*. Bioelectrochemistry Bioenergetics, 1976. 3: p. 58-83.
- 13 Chang, D.C. and T.S. Reese, *Changes in membrane structure induced by electroporation as revealed by rapid-freezing electron microscopy*. Biophysical Journal., 1990. 58: p. 1-12.
- 14 Kinoshita, K. and T.Y. Tsong, *Voltage induced pore formation and hemolysis of human erythrocyte membranes*. Biochim. Biophys. Acta, 1997(471): p. 227-242.
- 15 Tsong, T.Y., *Review: On electroporation of cell membranes and some related phenomena*. Bioelectrochemistry Bioenergetics, 1990. 24(271-295).
- 16 Teissie, J., M. Golzio, and M.P. Rols, *Mechanisms of cell membrane electroporation: A minireview of our present (lack of ?) knowledge*. Biochimica Biophysica Acta, 2005. 1724: p. 270-280.
- 17 Damar, S., F. Bozoglu, et al. (2002). "Inactivation and injury of Escherichia coli O157:H7 and Staphylococcus aureus by pulsed electric fields." World Journal of Microbiology and Biotechnology 18: 1-6.
- 18 Garcia, D., N. Gómez, et al. (2005). "Occurrence of sublethal injury after pulsed electric fields depending on the microorganism, the treatment medium pH and the intensity of the treatment investigated." Journal of Applied Microbiology 99(1): 94-104.
- 19 Unal, R., J.-G. Kim, et al. (2001). "Inactivation of escherichia coli O157:H7, listeria monocytogenes, and lactobacillus leichmannii by combinations of ozone and pulsed electric field." Journal of Food Protection 64: 777-782.
- 20 Liang, Z., G. S. Mittal, et al. (2002). "Inactivation of Salmonella Typhimurium in Orange Juice Containing Antimicrobial Agents by Pulsed Electric Field." Journal of Food Protection 65(7): 1081-1087.
- 21 Eunok Choe and David B. Minh. Chemistry and Reactions of Reactive Oxygen Species in Food. Journal of Food Science-Vol.70, Nr.9, 2005.
- 22 Yeom, H.W. et al. (2000). Effects of pulsed electric fields on the quality of orange juice and comparison with heat pasteurization. J. Agric. Food Chem.. 48, 4597-4605.
- 23 Sanchez-Moreno, C., et al. (2005). Impact of high pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing. J. Agric. Food Chem. 53, 4403-4409

- 24 Min, S. and Zhang, Q.H. (2003). Effects of commercial-scale pulsed electric field processing on flavour and color of tomato juice. *J. of Food Science* 68, 1600-1607
- 25 FEI-AiF FV 179 ZN. *Einsatz gepulster elektrischer Felder zur Herstellung von Apfelsäften im Hinblick auf Zellaufschluss, Konservierung, Tresterverwertung und Konformität der Säfte*. FEI-Zwischenbericht, 2006.
- 26 Van Loey, A., B. Verachert, and M. Hendrickx, *Effects of high electric field pulses on enzymes*. *Trends in Food Science & Technology*, 2001. 12: p. 94-102.
- 27 Bendicho, S., et al., *Effects of high intensity pulsed electric field and thermal treatments on a lipase from pseudomonas fluorescens*. *Journal of Dairy Science*, 2002. 85: p. 19-27.
- 28 Giner, J., et al., *Reduction of pectinesterase activity in a commercial enzyme preparation by pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetic models*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005. 85: p. 1613-1621.
- 29 Yang, R.J., S.Q. Li, and Q.H. Zhang, *Effects of pulsed electric fields on the activity of enzymes in aqueous solution*. *Journal of Food Science*, 2004. 69(4): p. 241-248.
- 30 Castro, A.J., et al., *Pulsed electric field modification of milk alkaline phosphatase activity*, in *Electric Fields in Food Processing*, G.V. Barbosa-Cánovas and Q.H. Zhang, Editors. 2001, Technomic: Lancaster, PA. p. 65-82
- 31 Yeom, H.W. et al. (2002). Inactivation of pectin methyl esterase in orange juice by pulsed electric fields. *J. Food Sci.*, 67, 2154-2159
- 32 Zhong, K. et al. (2005). Inactivation and conformational change of horseradish peroxidase induced by pulsed electric field. *Food Chemistry* 92, 473-479
- 33 Giner, J. et al. (2005). Reduction of pectinesterase activity in a commercial enzyme preparation by pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetic models. *J of the Sci. of Food and Agriculture* 85, 1613-1621
- 34 Bendicho, S. et al. (2003). Reduction of protease activity in simulated milk ultrafiltrate by continuous flow high intensity pulsed electric field treatments. *J. Food Sci.* 68, 952-957
- 35 Influence of the maillard reaction on the allergenicity of rAra h 2, a recombinant major allergen from peanut (*Arachis hypogaea*), its major epitopes, and peanut agglutinin. *J Agric Food Chem.* 2005 53:2289-96]
- 36 Van Loey, A. et al. (2002). Effects of high electric field pulses on enzymes. *Trends Food Science and Technol.* 12, 94-102
- 37 Barsotti. L. et al. (2002). Effects of high voltage electric pulses on protein-based food constituents and structures. *Trends in Food Science & Technology* 12, 136-144
- 38 Ayhan, Z. et al. (2001). Flavour, color, and vitamin C retention of pulsed electric field processed orange juice in different packaging materials. *J. Agric. Food Chem.* 49, 669-674
- 39 Besler M, Steinhart H, Paschke A. Stability of food allergens and allergenicity of processed foods. *J Chromatogr B* 2001, 756: 207-228, Sathe SK, Teuber SS, Roux KH. Effects of food processing on the stability of food allergens. *Biotechnol Adv.* 2005, 23:423-9.
- 40 Maleki S J, Chung S, Champagne E T, Raufman J P. Effect of roasting on the allergenic properties of peanut protein. *J Allergy Clin Immunol* 2000, 106: 763-768, Gruber P, Becker WM, Hofmann T.
- 41 Scheurer S, Lauer I, Foetisch K, San Miguel Moncin M, Retzek M, Hartz C, Enrique E, Lidholm J Cistero-Bahima A, Vieths S. Strong allergenicity of Pru av 3, the lipid transfer protein from cherry, is related to high stability against thermal processing and digestion. *J Allergy Clin Immunol* 2004, 114: 900-907
- 42 Pastorello E A, Vieths S, Pravettoni V, Farioli L, Trambaioli C, Fortunato D, Lüttkopf D, Calamari M, Ansaloni R, Scibilia J, Ballmer-Weber B, Poulsen L K, Wüthrich B, Skamstrup Hansen K, Robino A M, Ortolani C, Conti A. Identification of hazelnut allergens in sensitive patients with positive double-blind placebo-controlled food challenge results. *J Allergy Clin Immunol* 2002, 109: 563-570
- 43 Jankiewicz A, Baltés W, Bögl K W, Dehne L I, Jamin A, Hoffmann A, Hausteiner D, Vieths S. Influence of food processing on the immunochemical stability of celery allergens. *J Sci Food Agric* 1997, 75: 359-370.
- 44 Hoffmann-Sommergruber K. Plant allergens and pathogenesis-related proteins. What do they have in common? *Int Arch Allergy Immunol.* 2000 122:155-66.



**ANNEX 1**

Marianna Schauzu, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

**Rechtliche Regelungen**

Bevor mit dem PEF-Verfahren behandelte Lebensmittel in der Europäischen Union (EU) in den Verkehr gebracht werden können, ist zu prüfen, ob sie in den Geltungsbereich der am 15. Mai 1997 in Kraft getretenen Verordnung (EG) Nr. 258/97 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten fallen. Als neuartig anzusehen - und nach Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 258/97 genehmigungspflichtig - sind „Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, bei deren Herstellung ein nicht übliches Verfahren angewandt worden ist und bei denen dieses Verfahren eine bedeutende Veränderung ihrer Zusammensetzung oder der Struktur der Lebensmittel oder der Lebensmittelzutaten bewirkt hat, was sich auf ihren Nährwert, ihren Stoffwechsel oder auf die Menge unerwünschter Stoffe im Lebensmittel auswirkt.“

Bereits beim Inverkehrbringen hochdruckbehandelter Lebensmittel hat sich gezeigt, dass umfangreiche Untersuchungen nötig sind, um entscheiden zu können, ob die so behandelten Produkte dem Geltungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 258/97 zuzuordnen sind [2].

Wenn entsprechende Untersuchungen belegen, dass die Anwendung des PEF-Verfahrens lediglich geringfügige Veränderungen in der Zusammensetzung oder Struktur eines Lebensmittels verursachen, und wenn sich diese Veränderungen auf den Nährwert, Stoffwechsel und die Menge unerwünschter Stoffe nicht negativ auswirken, sind die mit dem PEF-Verfahren behandelten Lebensmittel nicht als neuartig im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 258/97 anzusehen und somit weder genehmigungs- noch kennzeichnungspflichtig.

Für den Fall, dass das PEF-Verfahren bedeutende Veränderungen mit Auswirkungen auf den Nährwert, Stoffwechsel oder die Menge unerwünschter Stoffe im Lebensmittel bewirkt, können die Untersuchungsergebnisse als Grundlage für das gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 erforderliche Genehmigungsverfahren dienen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt reichen die Kenntnisse über die Auswirkungen des PEF-Verfahrens auf unterschiedliche Lebensmittelmatrixen für eine generelle Sicherheitsbewertung des Verfahrens nicht aus. Daher müssen die mit dem PEF-Verfahren behandelten Produkte oder Produktgruppen jeweils einer Einzelfallprüfung unterzogen werden.

Als wünschenswert wird die Erarbeitung von Leitlinien für die Anwendung des PEF-Verfahrens und für die notwendigen Sicherheitsprüfungen angesehen. Eine Orientierungshilfe hinsichtlich der Prüfkriterien gibt die Empfehlung der Europäischen Kommission zu den wissenschaftlichen Aspekten und zur Darbietung der für Anträge gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 erforderlichen Informationen [3].

### **Prüfkriterien für Anträge gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97**

Eine Orientierungshilfe hinsichtlich der Prüfkriterien gibt die Empfehlung der Europäischen Kommission zu den wissenschaftlichen Aspekten und zur Darbietung der für Anträge gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 erforderlichen Informationen. Danach werden für die Sicherheitsbewertung von Lebensmitteln, die mit nicht üblichen Verfahren hergestellt werden und als neuartig im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 258/97 anzusehen sind, Informationen und Untersuchungen zu folgenden Aspekten für notwendig erachtet:

- *Spezifikation des neuartigen Lebensmittels (NL)*
- *Auswirkungen des auf das NL angewandten Herstellungsverfahrens*
- *Frühere Erfahrungen mit dem als Quelle für das NL verwendeten Organismus*
- *Voraussichtlicher Konsum/Ausmaß der Nutzung des NL*
- *Informationen über eine frühere Exposition des Menschen gegenüber dem NL oder seiner Quelle*
- *Ernährungswissenschaftliche Informationen über das NL*
- *Mikrobiologische Informationen über das NL*
- *Toxikologische Informationen über das NL*

### **Literatur zu Annex1**

- 1 Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 43/1, 14.2.973.
- 2 DFG-SKLM: Sicherheitsbewertung des Hochdruck-Verfahrens, 6.12.04
- 3 Empfehlung der Kommission vom 29. Juli 1997 zu den wissenschaftlichen Aspekten und zur Darbietung der für Anträge auf Genehmigung des Inverkehrbringens neuartiger Lebensmittel und Lebensmittelzutaten erforderlichen Informationen sowie zur Erstellung der Berichte über die Erstprüfung gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 253, 16.9.97

## ANNEX 2

### Hintergrundpapier zur Verfahrenstechnik

Stefan Töpfl<sup>1</sup>/ Volker Heinz<sup>2</sup>

#### Erzeugung der Hochspannungsimpulse

Die Erzeugung der Hochspannungsimpulse erfolgt in der Regel mittels eines Generators mit kapazitiver Speicherung der benötigten elektrischen Energie. Dieser besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten: einem Hochspannungsladegerät zur Versorgung mit elektrischer Energie, einer Energiespeicher und einem Hochspannungsschalter der die gespeicherte Energie über einen Schutzwiderstand in die Behandlungszelle und damit das zu behandelnde Medium überträgt.

Solange der Schalter geöffnet ist werden die Kondensatoren über den Ladewiderstand  $R_{\text{charge}}$  bis zum Potential  $U_0$  geladen. Beim Schließen des Schalters erfolgt eine Entladung der elektrischen Energie  $Q_0$  in den Entladekreis, der zeitliche Verlauf des Pulses wird dabei vorrangig durch die Kapazität (C), die Induktivität (L), den ohmschen Widerstand der Leitungen ( $R_{\text{conn}}$ ), des Schutzwiderstandes ( $R_{\text{prot}}$ ) sowie der Behandlungszelle ( $R_{\text{TC}}$ ) bestimmt. Je nach gewünschter Impulsform (exponentiell/rechteckig) können unterschiedliche Hochspannungsschalter eingesetzt werden, um eine repetierende Entladung des Energiespeichers durchzuführen. Als mögliche Schaltertypen kommen dabei Funkenstrecken oder Schaltsysteme auf Röhrenbasis (Thyratron, Ignitron etc.) sowie Halbleiterschalter auf Thyristorbasis in Frage. Zur Erzeugung von Pulsen mit rechteckigem Verlauf muss ein Halbleiterschalter (IGBT, Schliess- und Öffnungsfunktion) oder ein pulsformendes Netzwerk eingesetzt werden, während mittels der anderen Typen exponentiell abfallende Pulse erzeugt werden können. Die Auswahl des Schaltertyps bedingt darüber hinaus die maximale Spannung und Wiederholungsrate. Für die Anwendung im Bereich der Lebensmitteltechnologie werden Spannungen im Bereich von 10 – 100 kV benötigt, je nach Durchsatzrate des Produkts müssen Wiederholungsrate bis zu einigen kHz erreicht werden. Neben der schaltbaren Leistung hat darüber hinaus die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit der Schalteinrichtung eine zentrale Bedeutung, insbesondere für eine Anwendung in industriellem Maßstab. Bezüglich der Robustheit und den Einsatzmöglichkeiten entsprechender Schalter in industriellem Maßstab liegen derzeit keine ausreichenden Daten vor.

#### Prozessparameter

**Elektrische Feldstärke E.** Ein zentraler Parameter der Anwendung von Hochspannungsimpulsen ist die elektrische Feldstärke E, die sich für den Fall planparalleler Elektroden aus dem Verhältnis der angelegten Spannung und dem Elektrodenabstand berechnet. Die Bildung einer Pore innerhalb der Zellmembran setzt die Induktion eines Transmembranpotential von  $\sim 1$  V voraus, dazu muss die extern angelegte Feldstärke einen kritischen Wert  $E_{\text{krit}}$  übersteigen. Dieser liegt im Bereich von 1 – 3 kV/cm für pflanzliche und tierische Zellen und im Bereich von 10 – 20 kV/cm für Mikroorganismen. Die Höhe der kritischen Feldstärke hängt dabei von der Größe der Zelle, von deren Form und von der Orientierung der Zelle im elektrischen Feld sowie den elektrischen Eigenschaften der Membran, des Cytoplasmas sowie des Mediums ab. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere für Mikroorganismen mit geringem Zelldurchmesser wie *Listeria innocua* eine höhere elektrische Feldstärke zur Erzielung einer Elektropermeabilisierung benötigt wird. Eine weitere Erhöhung der elektrischen Feldstärke bis zu Bereichen um 50 kV/cm führt zu einer Verbesserung der Effektivität des Verfahrens, bei darüber hinausgehenden Werten ist die dielektrische Durchschlagsfestigkeit des Produktes zu berücksichtigen.

---

<sup>1</sup> Institut für Lebensmitteltechnologie der Technischen Universität Berlin

<sup>2</sup> Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL)e.V., Quakenbrück

**Behandlungsdauer, spezifischer Energieeintrag und Impulsform.** Das Produkt der Impulsdauer und der Impulsanzahl wird innerhalb zahlreicher veröffentlichter Arbeiten als Maß für die Behandlungsintensität verwendet. Die Pulsdauer entspricht dabei bei exponentiell abfallenden Pulsen der Zeit bis zu einem Abfall der Spannung bis zu 37 % des Maximalwertes. Bei Erhöhung der Impulsanzahl oder der Impulsbreite erhöht sich damit die Behandlungsdauer, allgemein wurde dabei eine Steigerung der Effektivität des Verfahrens beschrieben, jedoch wurde teilweise eine maximal erreichbare Inaktivierung in Form verzögerter Inaktivierungsraten beschrieben. Die Anzahl der pro Volumenelement eingebrachten Pulse ist dabei nur für einen Batch-Betrieb eindeutig bestimmt, im Falle einer kontinuierlichen Anwendung müssen mittlere Werte herangezogen werden. In Abhängigkeit von der Geometrie der Behandlungszelle kann in bestimmten Bereichen der Behandlungszone auch eine unterhalb des kritischen Wertes liegende Feldstärke vorliegen, dies sollte bei der Betrachtung der Verweilzeit und der Behandlungsintensität berücksichtigt werden.

Neben der Behandlungsdauer wird vielfach der spezifische Energieeintrag  $W$  als Intensitätsparameter eingesetzt, der gleichzeitig eine Abschätzung der zu erwartenden Kosten erlaubt. Dieser kann anhand der innerhalb der Kondensatoren gespeicherten elektrischen Energie, der Pulsfrequenz und dem behandelten Massenstrom errechnet werden. Zusammen mit der spezifischen Wärmekapazität des Produktes kann damit auch die zu erwartende Erwärmung durch Dissipation der elektrischen Energie abgeschätzt werden. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist damit die Verwendung des nötigen Energieeintrages zur Erzielung einer gewünschten Inaktivierungsrate als geeigneter Intensitätsparameter anzusehen, da gleichzeitig eine Abschätzung der Kosten und ein Vergleich zu anderen Verfahren ermöglicht wird. Jedoch kann durch alleinige Angabe der Behandlungszeit oder des spezifischen Energieeintrags keine vollständige Beschreibung des Verfahrens erreicht werden, da keine Information zur Stückelung der Energie in Einzelimpulse oder der Anzahl an Pulsen je Volumenelement enthalten ist.

Der Behandlungstemperatur kommt eine entscheidende Bedeutung zu, da eine Erhöhung der Temperatur aufgrund des Übergangs der Phospholipidschicht von einem gelartigen in einen fluiden Zustand einen stark synergetischen Einfluss auf die Effektivität des Verfahrens hat. Es konnte gezeigt werden, dass durch eine kombinierte Behandlung mit milder Hitze der Bedarf an elektrischer Energie drastisch reduziert werden kann.

### **Einflüsse des Mediums**

Die Eigenschaften des zu behandelnden Mediums, insbesondere die elektrische Leitfähigkeit und die Anwesenheit von Partikeln mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften können die Effektivität des Verfahrens beeinflussen. Darüber hinaus haben natürlich, wie auch bei anderen Konservierungsverfahren, Produkteigenschaften wie der pH-Wert, Wasseraktivität und der Gehalt antimikrobieller Substanzen einen Einfluss auf die Inaktivierung von Mikroorganismen. Die (temperaturabhängige) elektrische Leitfähigkeit des Produktes hat einen direkten Einfluss auf das sich an den Elektroden aufbauende Potential, da sie, neben der geometrischen Anordnung der Elektroden, den Widerstand der Behandlungszelle bestimmt. Das Verhältnis des Widerstandes der Behandlungszelle zu dem im Impulserzeuger integrierten Schutzwiderstand determiniert den Anteil der innerhalb der Behandlungszelle nutzbaren Leistung. Bei einem geringen Widerstand der Behandlungszelle, also bei hoher Leitfähigkeit des Produktes kann ein erheblicher Teil der Energie am Schutzwiderstand abfallen und tritt damit als Verlust auf. Die Leitfähigkeit des Produktes ist daher ein limitierender Faktor für die Anwendbarkeit des Verfahrens. Da für den Großteil der Produkte die Leitfähigkeit durch die Zusammensetzung oder die Rezeptur vorgegeben ist kann eine Anpassung nur durch eine gezielte Auswahl der Elektrodengeometrie erfolgen.

Die Anwesenheit von Luftblasen oder Partikeln mit von Wasser unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften kann eine Störung der Verteilung des elektrischen Feldes bedingen und wirkt sich damit ungünstig auf die Homogenität der Behandlung aus. Insbesondere in Randbereichen von Fetttropfchen, kann ein deutlicher Abfall der elektrischen Feldstärke aufgrund einer Konzentration der Feldlinien im inneren der Tröpfchen auftreten. Dies

muss bei der Auswahl geeigneter Prozessparameter berücksichtigt werden, um eine vollständige Inaktivierung aller vegetativen Keime und damit maximale Produktsicherheit zu gewährleisten. Ein ähnlicher Effekt kann auch bei der Anwesenheit von Luft- oder Gasblasen beobachtet werden, in deren Randbereichen ist mit einer verringerten Feldstärke und damit mit einer eventuellen Unterbehandlung des Produktes zu rechnen, die zu einer mangelhaften Inaktivierung führen kann. Durch eine Entgasung des Mediums vor der Behandlung oder eine Behandlung unter Gegendruck kann diesem Effekt begegnet werden, jedoch ist auch durch das Auftreten elektrochemischer Reaktionen mit einer Freisetzung von Gasen zu rechnen.

### **Aufbau der Behandlungszelle**

Die Behandlungszelle, innerhalb derer das Produkt dem elektrischen Feld ausgesetzt wird, besteht im Wesentlichen aus einer Anordnung von mindestens zwei, durch Isolatormaterial getrennten Elektroden. Durch diese wird das Produkt im Falle einer kontinuierlichen Anwendung des Verfahrens gepumpt. Vorwiegend drei unterschiedliche geometrische Anordnungen – parallele Platten, ko-axiale und ko-lineare Zylinder – wurden für bisherige Arbeiten häufig eingesetzt. Die Anordnung der Elektroden bestimmt dabei den Verlauf der elektrischen Feldlinien und die Homogenität der Feldverteilung. Durch eine parallele Anordnung zweier Platten mit großer Fläche kann die bestmögliche Homogenität erreicht werden, jedoch bedingt dieser Aufbau einen geringen Lastwiderstand der Behandlungszelle und ist damit insbesondere für Anwendungen in größerem Maßstab ungeeignet. Eine ko-axiale Anordnung zweier Zylinder weist ebenso, trotz homogener Feldverteilung, ein ungünstiges Verhältnis aus Elektrodenfläche und –abstand und damit einen geringen Lastwiderstand auf. Aus elektrotechnischer Sicht und im Hinblick auf die Skalierbarkeit des Verfahrens kommt daher vor allem eine ko-lineare Anordnung in Frage. Diese besteht aus einer Anordnung zylindrischer Elektroden, durch die das zu behandelnde Medium fließt. Insbesondere ein Aufbau aus drei Elektroden, einer zentralen Hochspannungselektrode sowie der zweier Masseelektroden erscheint dabei günstig. Bei diesem Aufbau wird die Behandlung in zwei Behandlungszonen durchgeführt, gleichzeitig sind Anschlüsse der von Außen zugänglichen Elektroden geerdet und damit potentialfrei. Aufgrund des großen Durchmessers ermöglicht die ko-lineare Anordnung die Behandlung von hochviskosen Medien mit Feststoffanteil. Die Geometrie der Elektroden und der Isolatoren muss dabei auf eine homogene Feldverteilung optimiert werden, um eine gleichmäßige und ausreichende Behandlung aller Volumenelemente zu erzielen. Durch die serielle Anordnung mehrerer Behandlungszonen kann sichergestellt werden, dass alle Volumenelemente einem ausreichenden elektrischen Feld ausgesetzt werden.

### **Auswahl des Elektrodenmaterials**

Neben der Grundanforderung, dass die verwendeten Materialien für die Elektroden und Isolatoren lebensmitteltauglich sein müssen stellt die Auswahl eines geeigneten Elektrodenmaterials eine Herausforderung dar. Dabei sind insbesondere die speziellen Anforderungen durch den Übergang elektrischer Ladungen an der Grenzfläche Elektrode-Medium zu berücksichtigen. Es ist mit elektrochemischen Stoffumwandlungen zu rechnen, die einerseits das zu behandelnde Produkt und andererseits die Elektroden beeinflussen können. Edelstahl, ein im allgemeinen lebensmitteltauglicher Werkstoff ist als Elektrodenmaterial nur bedingt geeignet. An der Anode erfolgt eine Oxidation, diese führt bei Anwendung von Elektroden aus Edelstahl zu einer Umwandlung und Freisetzung von  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  und anderer Bestandteile, die zu einer unerwünschten Kontamination des Lebensmittels führen können. Insbesondere der Gehalt an Schwermetallen innerhalb der Elektrode und deren Übergang in das Produkt lässt eine Anwendung von Edelstahl als Elektrodenmaterial ungeeignet erscheinen. Untersuchungen zum Einsatz von Graphit zeigten bisher sehr gute Ergebnisse, jedoch steht eine Bewertung des (mechanischen) Abtrages im Dauereinsatz noch aus. Zur Anwendung alternativer, nicht korrodierender Materialien wie Glaskohlenstoff, Ir/Ti oder Pt/Ti liegen ausreichende Erkenntnisse derzeit nicht vor.

## Annex 3

### Hintergrundpapier Chemische Aspekte

Hans J. Schäfer<sup>1</sup> /Bernhard Tauscher<sup>2</sup>

#### Grundlagen

Elektrochemische Stoffumwandlungen an den Elektroden einer elektrochemischen Zelle erfolgen durch paarweise Ladungsübertragung an der Phasengrenze Elektrolyt/Elektrode. Eine der beiden Elektroden, die Anode, nimmt von einem Molekül oder Ion der Lösung ein oder mehrere Elektronen auf (Oxidation). Die andere Elektrode, die Kathode, gibt an ein anderes Molekül oder Ion ein oder mehrere Elektronen ab (Reduktion). Bei niedrigen Stromdichten zwischen den Elektroden (im Bereich weniger  $\text{mA/cm}^2$ ) wird selektiv der für eine Reduktion (Oxidation) anfälligste Stoff reduziert (oxidiert). Bei hohen Strömen (einige  $\text{A/cm}^2$ ) wird für alle elektroaktiven Verbindungen der diffusionskontrollierte Grenzstrom erreicht und die Verbindungen werden entsprechend ihrer Konzentration umgesetzt. Bei den hohen Strömen, die beim Hochspannungsimpulsverfahren kurzzeitig auftreten, ist letzteres der Fall.

#### Mögliche Veränderungen von Lebensmittelinhaltsstoffen

Bei der PEF-Behandlung fließen elektrische Ströme. Abhängig von der Strommenge und der Stromdichte kann es zu unerwünschten Veränderungen von Lebensmittel-Inhaltsstoffen kommen:

*Zersetzung des Wassers:* Da Wasser immer für Elektrodenreaktionen verfügbar ist, muss mit den Folgeprodukten seiner Oxidation bzw. Reduktion gerechnet werden. Dies sind an der Anode OH-Radikale, das starke Oxidationsmittel  $\text{H}_2\text{O}_2$  sowie  $\text{O}_2$ . Durch Protonen kommt es weiterhin zu einer pH-Wert-Erniedrigung in der Nähe der Anode. An der Kathode bildet sich  $\text{H}_2$  unter Erhöhung des pH-Werts. Insbesondere die hochreaktiven OH-Radikale sowie das  $\text{H}_2\text{O}_2$  können mit anderen Bestandteilen des behandelten Lebensmittels weiter reagieren.

Durch Oxidation bzw. Reduktion des Wassers kann es in Elektrodennähe zur Ausbildung von pH-Gradienten und somit verstärkt zu Säure-Base-katalysierten Nebenreaktionen kommen.

Die Empfindlichkeit von Stoffen gegenüber einer Redoxreaktion ergibt sich aus ihren Oxidations- bzw. Reduktionspotentialen. Inhaltsstoffe werden leichter oxidiert als Wasser, wenn sie konjugierte Doppelbindungen, z.B. Carotinoide, Enole, z.B. Vitamin C, Stickstoff- und Schwefelatome mit niedriger Oxidationszahl enthalten. Die Reduktion der Inhaltsstoffe ist im allgemeinen schwieriger als die von Wasser.

*Proteine:* Neben den  $\text{H}^+$ - bzw.  $\text{OH}^-$  induzierten Hydrolyse- bzw. Racemisierungsreaktionen sind insbesondere Thiol- und Disulfid-Gruppen (von z.B. Cystin, Cystein) oxidations- bzw. reduktionsempfindlich. Weiterhin kann es, z.B. durch Hydroxyl-Radikale induziert, zur radikalischen Dimerisierung, Fragmentierung oder Folge-Oxidationen kommen.

*Anorganische Bestandteile:* Kationen und Anionen können in höhere bzw. niedrigere Oxidationsstufen überführt werden

*Kohlenhydrate:* Empfindlich gegen Oxidation ist die Halbacetalgruppe. Radikalreaktionen durch Hydroxylradikale bzw. Wasserstoffperoxid aus der Wasseroxidation können Veränderungen bewirken. Durch Proton-Katalyse an der Anode können Zuckeracetale verändert werden (Hydrolyse, Umacetalisierung).

---

<sup>1</sup> Prof. Dr. em. H. J. Schäfer; Institute of Organic Chemistry, Münster

<sup>2</sup> Prof. Dr. B. Tauscher; Federal Research Center for Nutrition and Food, Karlsruhe

Die Datenlage zu niedermolekulare Verbindungen ist begrenzt, so dass keine umfassenden Aussagen über mögliche Stoffumwandlungen in Lebensmitteln durch die PEF-Behandlung getroffen werden können.

Es muss analytisch geprüft werden, inwiefern das Verfahren redoxempfindliche Stoffe im Lebensmittel beeinflusst, beispielsweise sind bei ungünstiger Prozessführung der Abbau von Vitamin C und Lycopin denkbar.

Bei Anwendung des Verfahrens auf Lebensmittel sollte in jedem Einzelfall geprüft werden ob

1. Wertgebende Inhaltsstoffe vermindert werden,
2. toxische Verbindungen gebildet oder eingetragen werden,
3. die mikrobiologische Sicherheit gewährleistet ist
4. gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte eingehalten werden.

Nach den bisherigen Überlegungen kann die elektrochemische Komponente des Verfahrens wesentlich zur Wertminderung von Inhaltsstoffen und zur Bildung von toxikologisch bedenklichen Stoffen beitragen. Deshalb sollte an einigen repräsentativen Lebensmitteln, die die Breite der auftretenden physikalischen Zustände und chemischen wie enzymatischen Inhalte widerspiegeln gemäß 1. bis 4. geprüft werden.

Da die elektrochemische Intensität von der Stromdichte und der Impulsdauer abhängt, sollte geprüft werden, wie weit diese vermindert werden kann, indem Spannung und die Impulsdauer abgesenkt werden, ohne dass die Effizienz der Keimabtötung leidet. Dabei sollte die Spannung am Pulsende nicht über die Zelle, sondern durch einen metallischen Leiter zwischen den Elektroden entladen werden. Um den Stromfluss durch die Zelle ganz zu unterbinden, sollte man dringend einen Versuch ausführen, bei dem beide Elektroden mit einem möglichst dünnen (wenige Molekülschichten) durchschlagssicheren Film mit a) hohem und b) mit niedrigem Dielektrikum belegt ist. Die Spannung sollte dabei auch gepulst werden, um einen raschen Stoffaustausch in der elektrischen Doppelschicht zu sichern. Auf diese Weise könnte das elektrische Spannungsfeld ggfs. ohne Stromfluss nachgestellt werden. Die Keimabtötung unter diesen Bedingungen wäre zu prüfen.

### **Elektrodenmaterialien**

Alternative Elektrodenmaterialien zu Metallelektroden könnten beim Hochspannungsimpulsverfahren Ir/Ti (Metalle), Glaskohlenstoff, Graphit oder Pt/Ti (Metalle) sein. Auch diese Materialien können zwar letztendlich oxidiert werden; sie sind aber schwerer oxidierbar als Wasser, bilden unbedenkliche Nebenprodukte oder gehen in ihrer oxidierten Form nicht in Lösung. Möglicherweise kann durch geeignete, nicht-leitende Elektrodenbeschichtungen eine Stoffumwandlung völlig vermieden werden, da dies zu einer rein kapazitiven Zelle ohne Elektrodenreaktionen führen würde.

---