

# VON DER SONNE LERNEN

## Nutzung der Plasmatechnologie zur Behandlung von Lebensmitteln

Matthias Baier (Potsdam), Jörg Ehlbeck (Greifswald), Oliver Schlüter (Potsdam)

Pflanzliche Produkte wie Gemüse oder Obst können bedenklich hohe Konzentrationen an Krankheitserregern aufweisen. Auch gezielte Reinigungsschritte während der Aufarbeitung bieten keinen ausreichenden Schutz gegen mikrobiologische Verunreinigungen. Als rückstandsfreie Alternative zu bisher üblichen chemischen und thermischen Dekontaminationsverfahren soll künftig kaltes Plasma zum Einsatz kommen. Das umweltschonende physikalische Verfahren wird seit Jahren erfolgreich in der Oberflächenbehandlung von Lebensmittelverpackungen genutzt. Die Wirkung auf Lebensmittel selbst ist aber bisher kaum erforscht. Wissenschaftler am Leibniz-Institut für Agrartechnik in Potsdam-Bornim (ATB) untersuchen nun die Anwendung von Plasma bei frischem Obst und Gemüse, um die Keimzahlen zu verringern und damit die Sicherheit der Produkte zu erhöhen.

Frisches Obst und Gemüse kommt aus dem Freiland oder Gewächshaus und weist daher, je nach Bodenbeschaffenheit und Witterungsbedingungen, eine natürliche Mikroflora aus Bakterien, Schimmelpilzen und Hefen, Viren und Protozoen auf. Darüber hinaus können Lebensmittel insbesondere durch Wasser und tierische Exkremente kontaminiert werden. Besonders humanpathogene Mikroorganismen wie Listerien müssen aus hygienischer Sicht vermieden werden. Wirtschaftlich bedeutsam sind auch pflanzenschädigende Pilze und Bakterien, die Lagerverluste verursachen können.

Mit den wachsenden Anforderungen hinsichtlich einer rückverfolgbaren Produktqualität und -sicherheit gewinnt vor allem die Bestimmung des mikrobiellen Kontaminationsgrades und die daraus ableitbare Überwachung des Hygienestatus an Bedeutung. Wenn erhöhte Bakterienzahlen festgestellt werden, muss zeitnah in geeigneter Weise darauf reagiert werden. Thermische Verfahren zur mikrobiellen Dekontamination werden dem Verbraucheranspruch an ein möglichst ursprüngliches, frisches Produkt von hoher Qualität und Sicherheit nicht gerecht. Chemische Methoden finden aufgrund der Rückstandsproblematik keine Akzeptanz bei den Konsumenten. Eine rückstandsfreie Behandlung, zum Beispiel mit Ozon, kann dagegen meist nur unzureichende Inaktivierungsraten bei den Schadkeimen gewährleisten.

Um vorzeitigem Verderb und einem nicht akzeptablen Sicherheitsrisiko vorzubeugen, müssen daher geeignete Behandlungsprozesse entwickelt werden, die gleichzeitig Produktsicherheit und den Erhalt der wertgebenden Produkteigenschaften garantieren. Hier bietet der gezielte Einsatz von Niedertemperaturplasma (NTP) bei atmosphärischen Bedingungen einen neuen und viel versprechenden technologischen Ansatz zur schonenden Hygienisierung von frischem und minimal verarbeitetem Obst und Gemüse. Das neue Verfahren bietet zukünftig auch die Perspektive, in der ökologischen Produktion eingesetzt zu werden, da es auf physikalischen Prinzipien beruht.

### Interessante Optionen für die Medizin

Als Plasma wird der nach dem gasförmigen Zustand nächsthöhere, vierte physikalische Aggregatzustand der Materie bezeichnet. Natürliches Plasma findet sich in der Sonne, dem Polarlicht oder bei Gewitterblitzen. Die heutige Technik ermöglicht es, ein Plasma auch weit unterhalb der Millionen Grad Celsius der Sonne oder den Tausenden Grad Celsius eines Blitzes zu generieren. Deshalb spricht man in diesem Fall von einem nicht-thermischen oder auch kalten Plasma.

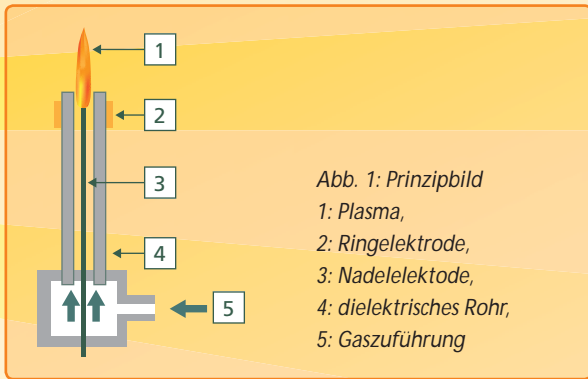


Abb. 1: Prinzipbild  
 1: Plasma,  
 2: Ringelektrode,  
 3: Nadelelektrode,  
 4: dielektrisches Rohr,  
 5: Gaszuführung

Die antimikrobielle Wirksamkeit solcher nicht-thermischer Plasmen ist bereits Gegenstand intensiver Forschung, beispielsweise in der Medizintechnik. Dort wird untersucht, inwieweit sich hitzeempfindliche medizinische Verbrauchsmaterialien wie Katheterschläuche und Instrumente bei niedrigen Temperaturen mittels Plasma sterilisieren lassen. Studien der neu entstehenden Plasmamedizin deuten darauf hin, dass bei Patienten mit chronischen Wunden eine direkte Anwendung auf die Haut die Krankheitserreger dezimiert und zu einer Beschleunigung der Wundheilung führen kann. Die besondere Herausforderung liegt darin, ein Plasma zu generieren, das unter Umgebungsdruck Temperaturen von 35 °C nicht überschreitet.

### Kaltes Plasma für empfindliche Frischeprodukte

Die Nutzung der Plasmabehandlung pflanzlicher Rohmaterialien ist noch Neuland. Weniger als 20 Publikationen weltweit sind zu diesem Thema zu finden. Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung der Plasmatechnologie ist – neben niedrigen Temperaturen – die Unempfindlichkeit gegenüber Schwankungen in Größe und geometrischer Form, Beschaffenheit und Struktur der Oberflächen, sowie Toleranz gegenüber schwankenden Feuchtigkeitsgehalten. Damit werden hohe Anforderungen an den Prozess und an die verwendeten Plasmaquellen gestellt. Dielektrisch behinderte Entladungen, wie sie großtechnisch in der Behandlung von Kunststoff-Folien oder zur Ozongenerierung eingesetzt werden, sind nur in speziellen Ausführungen einsetzbar. Sogenannte Remote-Plasmen, bei denen die Applikation von der Plasmaerzeugung getrennt ist, eignen sich besser. Um der Herausforderung einer Keim-Inaktivierung auf empfindlichen

biologischen Oberflächen begegnen zu können, setzt das ATB in Potsdam einen am Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP Greifswald e.V.) entwickelten Plasmajet ein (Abb. 1). Eine Flächenleistung, wie sie zum Beispiel für automatisierte Verarbeitungslinien in der Obst- und Gemüseproduktion notwendig ist, kann durch zusammengeführte Plasmajetmodule erreicht werden (Abb. 2). Eine weitere Möglichkeit stellen Remote-Plasmen auf Basis von Mikrowellenanregung dar, die über wesentlich höhere Leistungsumsätze bis zu einigen kW verfügen und mit Pressluft betrieben werden können. Die deutlich höhere Gastemperatur im Prozessbereich stellt aber eine Herausforderung an die Prozessführung dar.

### Intelligentes System zur Hygienisierung von Lebensmitteln

Der Erfolg gezielter Hygienisierungsmaßnahmen hängt unter anderem von der jeweiligen Ausgangskeimzahl der Rohware sowie von der Prozessführung ab. Voraussetzung für eine chargenspezifische Verfahrensweise ist die Entwicklung einer schnellen, robusten und automatisierbaren Nachweismethodik, die es ermöglicht, frühzeitig kritische Keimbelastungen zu erkennen und zügig mit einer Behandlung reagieren zu können. Für den Nachweis eignet sich der Waschprozess in idealer Weise, da hier die Keime in Suspension vorliegen und aus einer Bestimmung des Kontaminationsgrades der Hygienestatus des Produktes sowie der Produktionslinie abgeleitet werden kann. Die Anwendung plasmabasierter Verfahren zur Behandlung pflanzlicher Produkte ist grundsätzlich neu. Dies bedeutet, dass neben der Festlegung entsprechender Behandlungsbedingungen und -parameter die Verfahren auch im Hinblick auf den Nachweis der antimikrobiellen Wirksamkeit neu konzipiert werden müssen. Wissenschaftler im Verbundprojekt FriPlas® haben damit begonnen, eine neue gesamtheitliche Lösungsstrategie zur Steigerung der hygienischen Qualität und Sicherheit frischer pflanzlicher Lebensmittel zu entwickeln. Dazu bedienen sie sich innovativer Ansätze zum verfahrensbegleitenden Monitoring von Schadkeimen auf der Produktmatrix sowie einer zielgerichteten Prozessführung neuer nicht-thermischer Plasmatechnologien. In dem Projekt, das vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gefördert und vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) koordiniert wird, arbeiten sechs Partner aus Forschung und

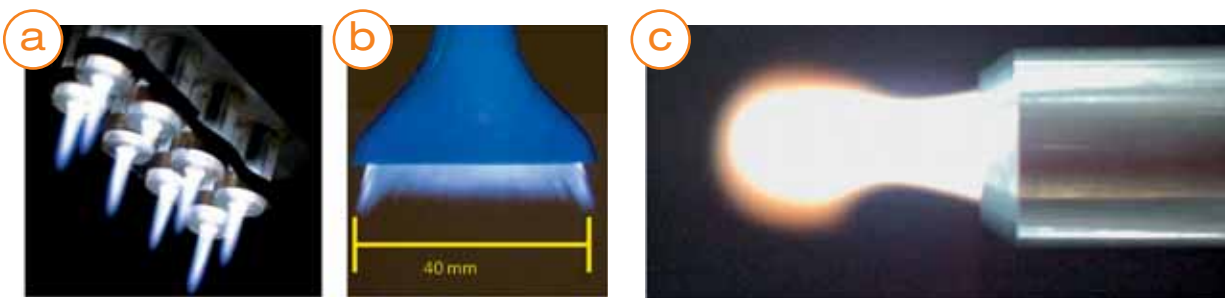
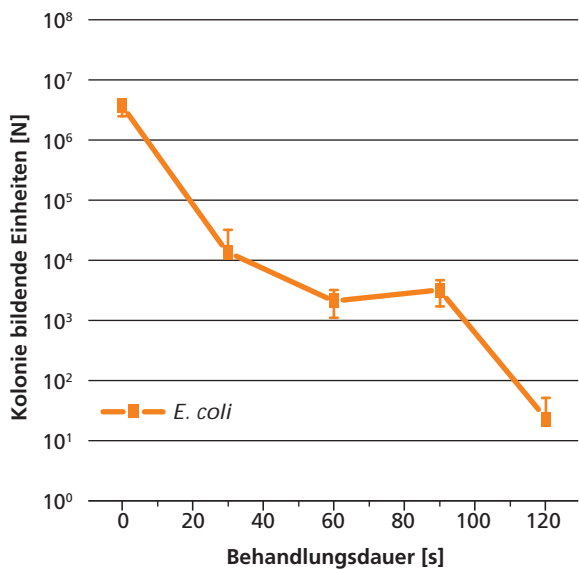


Abb. 2: Plasmaquellen zur großflächigen Applikation (a, b), mikrowellenangeregter Plasmatorch, Leistungsbereich bis 1,6 kW, Arbeitsgas Luft (c); INP

**Abb. 3: Inaktivierungskinetik von *E. coli* bei indirekter Behandlung mit 7 mm Abstand zum sichtbaren Argon-Plasma mit 0,1 % O<sub>2</sub>-Zusatz.**



Wirtschaft zusammen (Forschung: ATB, INP und das Fachgebiet für Lebensmittelbiotechnologie und -prozess-technik der Technischen Universität Berlin. Wirtschaft: CZIOTEC GmbH, ELBAU Elektronik Bauelemente GmbH und Rudolf Wild GmbH & Co. KG).

## Nachweis und Charakterisierung von Mikroorganismen

Die Nachweismethodik von Mikroorganismen soll im Rahmen von FriPlas<sup>®</sup> aus einer elektro-optischen Messmethode in Kombination

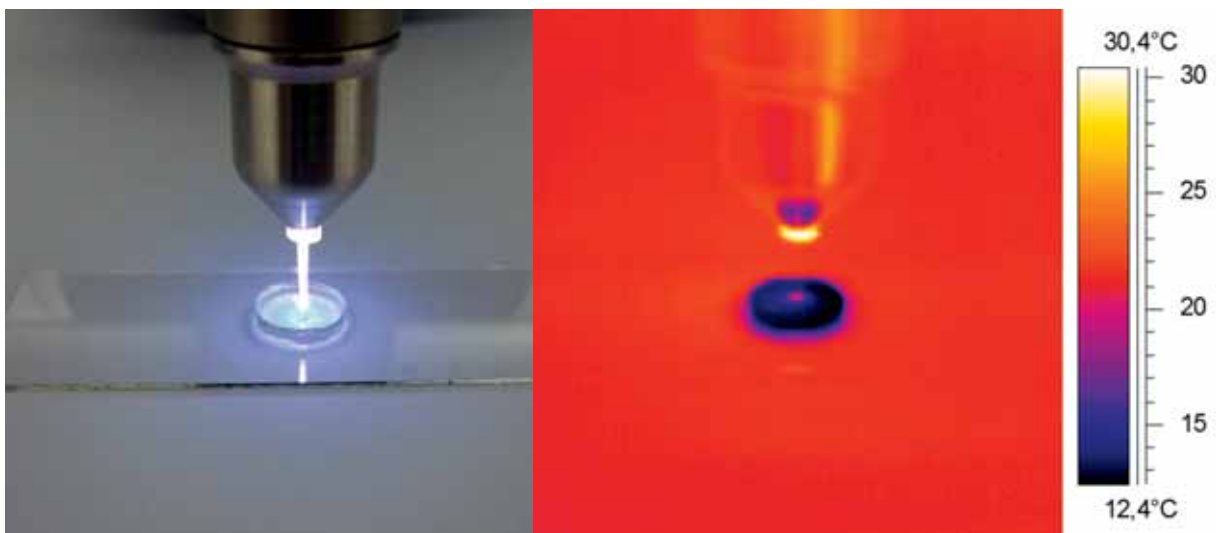
mit durchflusszytometrischer Analytik entwickelt werden. Während das elektro-optische Verfahren automatisch Zelldichten erfasst und Aussagen über zellphysiologische Parameter ermöglicht, lassen sich mit der Durchflusszytometrie die jeweiligen Verderborganismen über geeignete Sondensysteme schnell identifizieren. Darüber hinaus können anhand von spezifischen Markern bzw. fluoreszierenden Farbstoffen weitere Aussagen über die Enzymaktivität, das Membranpotenzial oder die Intaktheit der Zellmembran der untersuchten Bakterien abgeleitet werden. Entsprechend der Versuchsergebnisse kann die Plasmabehandlung optimiert werden.

## Erste Etappensiege gegen Keime

Zunächst wurde eine Modellmatrix ausgewählt, auf der die mikrobiologischen Tests durchgeführt werden. Mit Hilfe eines leicht steril herstellbaren Gels kann die Plasmawirkung auch auf Bakterien untersucht werden, die bereits durch eine trockene Unterlage zu beeinflussen sind. Die Wirkung des Plasmas in Abhängigkeit von Behandlungszeit, Arbeitsgas, Probenabstand und Ausgangskeimzahl kann anhand von Inaktivierungskinetiken dargestellt werden (Abb. 3). Bereits nach einer Minute Behandlungsdauer konnte die Bakterienkonzentration um drei logarithmische Einheiten bzw. 99,9% inaktiviert werden.

Die thermischen Verhältnisse an der Probenoberfläche wurden anhand von Thermografieaufnahmen überwacht. Auch nach vier Minuten Behandlungsdauer wurde eine Temperatur unterhalb von 25 °C gemessen (Abb. 4).

Im weiteren Verlauf der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wollen die Wissenschaftler das Potenzial der Plasmabehandlung beurteilen. Anhand verschiedener Proben werden die Prozess-Produkt-Wechselwirkungen exemplarisch untersucht (Abb. 5a). Von besonderer Bedeutung ist dabei die Frage, in welcher Form die pflanzliche Physiologie durch die Plasmakomponenten an der Oberfläche



**Abb. 4: Plasmabehandlung von Bakterien auf einem Gelmodell (links) und Infrarottemperaturmessung der Geloberfläche nach einer Behandlung von 4 min (rechts). Plasmajet (Entwicklung: INP Greifswald e. V.; Vertrieb: neoplas tools GmbH)**

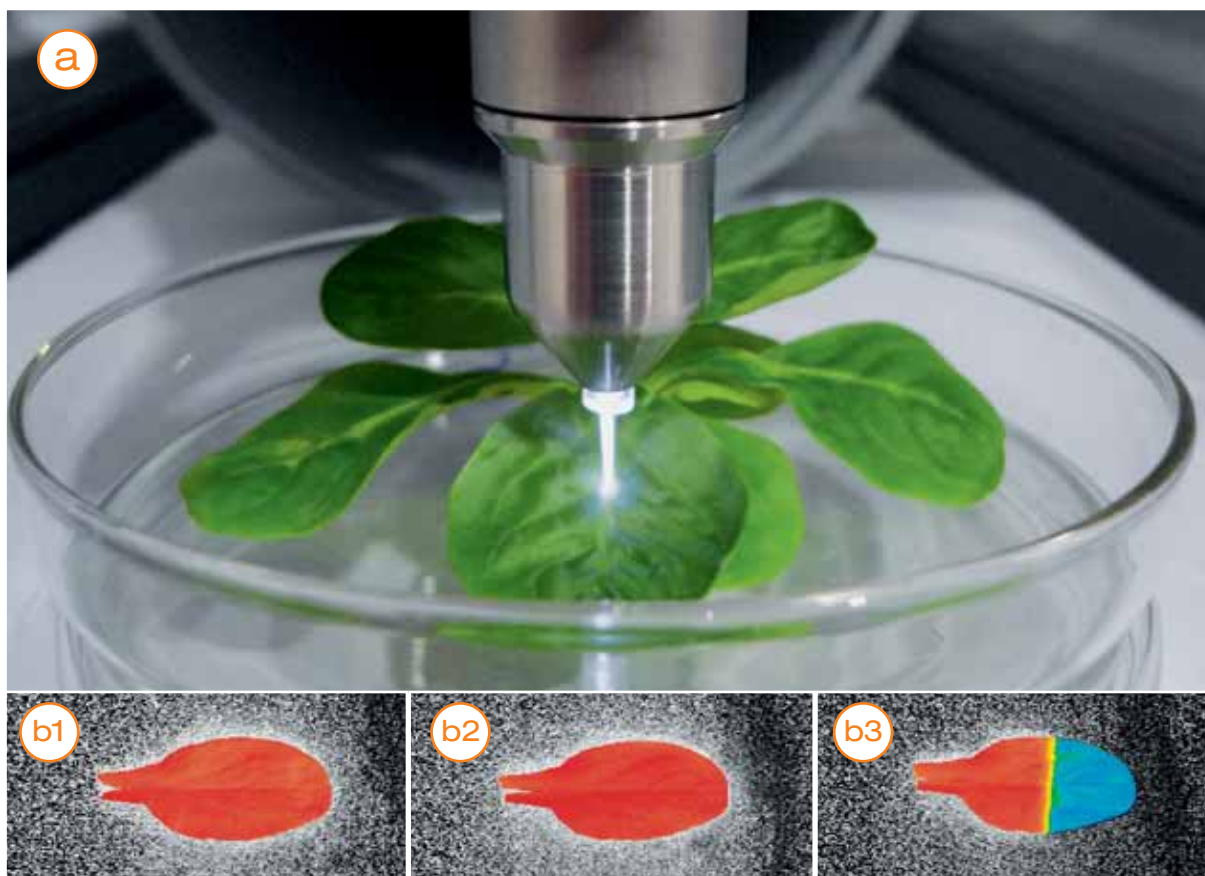


Abb. 5: NTP-Behandlung einer Feldsalatpflanze (a) und (b) Bewertung der physiologischen Aktivität mittels Chlorophyll-Fluoreszenz-Bildanalyse 1) eines unbehandelten Blattes, 2) nach 1 min Plasmabehandlung bei 7 mm Abstand zum sichtbaren Argon-Plasma mit 0,1 % O<sub>2</sub>-Zusatz, 3) zum Vergleich: nach 20 s Tauchbad in 60 °C Wasser.

beeinflusst wird. Hierfür kommen vielfältige Methoden zum Einsatz, unter anderem die Chlorophyllfluoreszenz-Bildanalyse (Abb. 5b), UV/VIS/NIR- bzw. FIR-Spektrometrie, moderne Gaswechsellmesstechnik zur Bestimmung von Transpirations- und Atmungsrate sowie Wasserpotenzial-Messsysteme.

### Mit Plasma rückstandsfrei zu sicheren Produkten

Als Ergebnis des Projekts sollen der Lebensmittelindustrie Konzepte für eine automatisierte Einheit zur Verfügung gestellt werden, die auch in bestehende Verarbeitungslinien für frische Obst- und Gemüseprodukte integrierbar ist. Dabei erfassen Sensorysysteme während des Waschvorgangs den Grad mikrobieller Belastung der jeweiligen Rohwarenmenge. Nach dem Prinzip „soviel wie nötig, so wenig wie möglich“ wird über die ausgewerteten Sensordaten die notwendige Intensität der anschließenden Plasmabehandlung bestimmt, mit dem Resultat eines sicheren und qualitativ hochwertigen Lebensmittels.

Neben diesen von FriPlas<sup>®</sup> verfolgten Zielen birgt die Anwendung von Plasma in der Lebensmitteltechnologie Potenziale über die Grenzen eines reinen Entkeimungsverfahrens hinaus, beispielsweise

für die Funktionalisierung von Lebensmitteloberflächen. Bisher müssen hierfür chemische Verfahren eingesetzt werden, zum Beispiel um eine verbesserte Wasseraufnahme- oder Emulgierfähigkeit von Oberflächen zu erzielen. Ähnlich wie in der Plasmamedizin könnte die schonende Anwendung von Plasma zudem dazu genutzt werden, Nutzpflanzen über „positiven Stress“ zu einer erhöhten Produktion wertvoller sekundärer Inhaltsstoffe wie Polyphenole zu stimulieren. ■



Matthias Baier & Dr. Oliver Schlüter, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.

(ATB), Abteilung Technik im Gartenbau,  
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam.

E-Mail: [mbaier@atb-potsdam.de](mailto:mbaier@atb-potsdam.de),  
[oschlueter@atb-potsdam.de](mailto:oschlueter@atb-potsdam.de)



Dr. Jörg Ehlbeck, Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP Greifswald), Plasma-diagnostik (PD), Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald.

E-Mail: [ehlbeck@inp-greifswald.de](mailto:ehlbeck@inp-greifswald.de)