

Querschnittstechnologie der Zukunft

Auf dem Weg zur Plasma-Bioökonomie

Plasmatechnologie ist bereits in vielen Bereichen unverzichtbar geworden. Neue Anwendungsbereiche wie Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie verbreitern die klassischen Einsatzgebiete. Welche Rolle kann die Plasmatechnologie für eine nachhaltige Ökonomie spielen?

Von Ute Liebelt und Klaus-Dieter Weltmann

Offen für Innovation – Plasma – die stille Revolution, so war einst ein Artikel zur Plasmatechnologie überschrieben (Ramge 2005). Diese stille Revolution ist weiter fortgeschritten und die Plasmatechnologie überzeugt als multifunktionales Werkzeug in neuen Anwendungsgebieten.

Seit Beginn der 2010er Jahre wird der Einfluss kalter Plasmen auf verschiedenste biologische Materialien einschließlich Lebensmittel, Pflanzen und Saatgut untersucht.

Dies erweitert die klassischen Einsatzgebiete wie beispielsweise Informations-, Elektro- und Medizintechnik, Fahrzeug- und Maschinenbau, Optik, Neue Materialien und Textilindustrie. In der Medizin hat sich die Anwendung der kalten Atmosphärendruck-Plasmen sogar mit einem eigenen Fachgebiet etabliert.

Querschnittstechnologie für ein Querschnittsthema

Ökonomie und Ökologie für ein nachhaltiges Wirtschaften verbinden – unter dieser Zielsetzung steht die 2020 veröffentlichte Nationale Bioökonomiestrategie der Bundesregierung. Die Bioökonomie wird dort als Querschnittsthema und sektorenübergreifendes Wirtschaftskonzept charakterisiert, welches eine interdisziplinäre Forschung über die Biowissenschaft hinaus erfordert.

Es besteht eine Schnittmenge zwischen den Anwendungsmöglichkeiten der Plasmatechnologie zu den Themen

der Bioökonomie, welche Produkte, Verfahren und Dienstleistungen auf der Basis biologischer Ressourcen aus Land-, Forst- und Meereswirtschaft, Fischerei und Aquakultur, der mikrobiellen Produktion sowie biogene Reststoffe einschließt.

Aufschluss von Biomasse zur stofflichen und energetischen Verwertung

Der Gewinnung hochwertiger biobasierter Stoffe sowie der energetischen Nutzung biogener Reststoffe wird eine große Bedeutung zugemessen. Um die biologischen Ausgangsmaterialien energetisch zu verwerten oder an neue, wertvolle Inhaltsstoffe zu gelangen, müssen effiziente Verfahren zum Aufschluss entwickelt werden.

Im März 2022 wurde durch die EU-Kommission *REPowerEU* eine Verdopplung der Biogasproduktion bis 2030 beschlossen. Zur Erreichung dieses Zieles kann die Plasmatechnologie einen großen Beitrag leisten, zum Beispiel durch die Entwicklung effizienter Verfahren zum Aufschluss biogener Reststoffe zur Verwertung in Biogasanlagen.

Am Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V. (INP) wird seit einigen Jahren intensiv am Aufschluss von Fermentationsrückständen aus Gülle verarbeitenden Biogasanlagen gearbeitet. Bisher werden dafür Ultraschallverfahren verwendet. Wird zusätzlich ein durch Mikrowellen angeregtes

Plasma direkt im Fermentationsrückstand gezündet und aufrechterhalten, entstehen verschiedene aktive Radikale aus der Biomasse selbst. Dadurch werden sowohl die Zellwände aufgebrochen als auch die polymeren Strukturen abgebaut und die Viskosität nimmt ab. Im Ergebnis können die Mikroorganismen den so behandelten Fermentationsrückstand nach Rückführung in die Biogasanlage weiter verwerten und die Energieausbeute insgesamt steigt an. Dies erfolgt bei Normaldruck, Raumtemperatur und ohne den Zusatz von Chemikalien (Honnorat et al. 2020). Gemeinsam mit Industriepartnern ist dieser Ansatz inzwischen so weit entwickelt worden, dass die Technologie in die Praxis überführt wird. Die Effizienz der Anlagen kann so um rund 20% gesteigert werden. Das große wirtschaftliche Potenzial wird deutlich, wenn man bedenkt, dass die circa 8000 Gülle verarbeitenden Biogasanlagen in Deutschland bisher nur etwa 30% der anfallenden rund 100 Millionen Tonnen fester und flüssiger Gülle nutzen.

Ganz anders gestalten sich die Anforderungen an Aufschlüsse, wenn wertvolle und empfindliche Inhaltsstoffe aus biologischem Material gewonnen werden sollen. Die Zellstrukturen müssen so weit aufgebrochen werden, dass die Zielsubstanz unter Erhalt ihrer Struktur möglichst vollständig, rein und mit einem vertretbaren Aufwand extrahiert werden kann.

Ein besonderes Potenzial für hochwirksame Inhaltsstoffe schlummert in unterschiedlichen Mikroalgen. Viele davon haben eine besonders feste Zellwand, die es effizient und schonend aufzubrechen gilt. Ein erfolgreiches neues Verfahren nutzt dazu Funkenentladungen. Diese werden durch Hochspannungsimpulse ausgelöst. Die Funken werden dabei direkt in der Algensuspension gezündet. Haupteffekt ist die entstehende Schockwelle, die in unmittelbarer Nähe der Entladung wirkt und die Zellwand mechanisch aufbricht. Dieses Verfahren ist besonders geeignet zur Extraktion hitzeempfindlicher Verbindungen, wie zum Beispiel der Gewinn-

nung von Phycocyanin aus Rotalgen, einem blauen Farbstoff (Zocher et al. 2020; Sommer et al. 2021).

Sicherheit, Schutz und Haltbarmachung von Lebensmitteln, Saat- und Erntegut

Um Lebensmittel, Saat- und Erntegut sicher und effektiv zu verwerten, sollen Verluste durch Verderb und/oder Befall durch Pilze, Bakterien, Viren und Insekten möglichst verhindert und die gewonnenen Produkte in Gänze der zugegedachten Verwertung zugeführt werden, und dies möglichst ohne Zusatz von chemischen Stoffen wie Pestiziden, Beizen oder Insektiziden.

Auch hier zeigt sich ein hohes Potenzial der Plasmatechnologie. Die Behandlung von Saatgut, Erntegütern und Lebensmitteln kann direkt mit Plasma oder auch indirekt mit plasmabehandelte Luft wie auch mit Plasma prozessiertem Wasser erfolgen. Abhängig von der Zusammensetzung des Mediums werden kurz- und langlebige Spezies (beispielsweise Hydroxyl-Radikale, Ozon, Stickoxide), geladene Partikel (beispielsweise Elektronen), elektrische Felder und ultraviolette Strahlung generiert. Das Verfahren muss dabei genau an das zu behandelnde Gut und den angestrebten Prozess angepasst werden.

Ein Anwendungsbeispiel ist das Waschen von frischem Salat (Endivien) mit Plasma prozessiertem Wasser zur Reduzierung der mikrobiellen Belastung und Erhöhung der mikrobiologischen Sicherheit des Salates (Schnabel et al. 2021a). Die Bestätigung des Erhalts der Lebensmittelqualitätsmerkmale war der Startpunkt für die Überführung des Verfahrens in die industrielle Anwendung (Schnabel et al. 2021b).

Noch im Forschungsstadium befinden sich Untersuchungen zur direkten Plasmabehandlung von Saatgut. Neben der Dekontamination der Saatgutoberfläche und der dadurch bedingten Reduktion von Pflanzenschädlingen und Krankheitserregern, wird eine verbesserte Wasseraufnahme und ein schnelleres Keimen des Saatgutes beobachtet. Die

Behandlung führt zu einer Stimulierung physiologischer Prozesse, die sich positiv auf die Wurzelbildung und das Pflanzenwachstum auswirken kann. Die Pflanzen haben somit einen Wachstumsvorteil und können in der Keimungsphase das vorhandene Wasser besser aufnehmen, was beispielsweise in Dürre Jahren für die Ernte entscheidend sein kann.

Am INP wurde dafür ein dielektrischer Barriereentladungsreaktor zur Saatgutbehandlung entwickelt. Behandeltes Saatgut von Winterweizen und Gerste zeigte eine bemerkenswerte Erhöhung der Benetzbarkeit und Beschleunigung der Keimung (Brust et al. 2021). Inzwischen bestätigen Untersuchungen an anderen Pflanzen zum Beispiel Raps, Erbsen, Lupine und Klee den hohen Nutzen der Plasmabehandlung.

Ausblick und Fazit

Wie alle neuen Technologien müssen sich auch Plasmaverfahren in der Praxis bezüglich Wirtschaftlichkeit und Handhabbarkeit beweisen. Dazu werden die Forschungsarbeiten und das Scale-up gemeinsam mit den Partnern aus der Praxis weiter vorangetrieben.

Immer neue Einsatzgebiete für die Plasmatechnologie im Rahmen der Bioökonomie werden identifiziert. Dabei geht es unter anderem um die Adaption der Verfahren auf andere Pflanzen, sowohl auf Saatgut als auch um die indirekte Behandlung in der Wachstumsphase, auf verschiedenste Biomaterialien und Lebensmittel, um die Verwertung von CO₂ genauso wie um Fragen zu Kreislaufführung oder der Reinhaltung von Wasser, Luft und Boden.

Die Plasmatechnologie kann ein entscheidendes Werkzeug für viele neue Anwendungen sein, hat großes Potenzial für die Zukunft und beweist sich einmal mehr als Querschnittstechnologie.

Hieß es noch 2005: „Die weltweit wichtigste Anwendung von Plasmatechnologie ist die Neonröhre“, heißt es vielleicht 20 Jahre später: „Eine der weltweit wichtigsten Anwendungen der Plasmatechnologie sind die Verfahren zur Plasma-Bioökonomie“.

Literatur

- Brust, H. et al. (2021): A medium-scale volume dielectric barrier discharge system for short-term treatment of cereal seeds indicates improved germination performance with long-term effects. In: *Journal of Applied Physics* 129. doi: 10.1063/5.0033369
- Honnorat, B./Brüser, V./Kolb, J. F. (2020): Microwave plasma discharges for biomass pretreatment: Degradation of a sodium carboxymethyl cellulose model. In: *AIP Advances* 10:095025. doi: 10.1063/5.0018626
- Ramge, T. (2005): Offen für Innovation – Plasma – Die stille Revolution. In: *Brand Eins Wirtschaftsmagazin* 04/2005.
- Schnabel, U. et al. (2021a): Optimizing the application of plasma functionalised water (PFW) for microbial safety in fresh-cut endive processing. In: *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 72. doi: 10.1016/j.ifset.2021.102745
- Schnabel, U. et al. (2021b): The Effect of Plasma Treated Water Unit Processes on the Food Quality Characteristics of Fresh-Cut Endive. In: *Frontiers in Nutrition* 7. doi: 10.3389/fnut.2020.627483
- Sommer, M.-C./Balazinski, M./Rataj, R./Wenske, S./Kolb, J. F./Zocher, K. (2021): Assessment of Phycocyanin Extraction from *Cyanidium caldarium* by Spark Discharges, Compared to Freeze-Thaw Cycles, Sonication, and Pulsed Electric Fields. In: *Microorganisms* 9/7.
- Zocher, K./Rataj, R./Steuer, A./Weltmann, K.-D./Kolb, J. F. (2020): Mechanism of microalgae disintegration by spark discharge treatment for compound extraction. In: *Journal of Physics D: Applied Physics*: 53/21.

AUTOR/INNEN + KONTAKT

Dr. Ute Liebelt ist Forschungskordinatorin am Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V. (INP)

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V. (INP), Felix-Hausdorff-Straße 2, 17489 Greifswald. Tel.: +49 3834 554-3951, E-Mail: ute.liebelt@inp-greifswald.de

Dr. Klaus Dieter Weltmann ist Vorstandsvorsitzender, Wissenschaftlicher Direktor und Professor am Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V. (INP)

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V. (INP), Felix-Hausdorff-Straße 2, 17489 Greifswald. Tel.: +49 3834 554-300, E-Mail: weltmann@inp-greifswald.de