



Sensoren in der Frischekette

Sensoren sichern Qualität und Sicherheit bei Obst und Gemüse

Helene Foltan, Antje Fröhling und Christiane von Haselberg (Potsdam)

Bevor der knackige Salat auf dem Teller liegt und uns genüsslichen Verzehr verspricht, hat er meist schon einiges durchlebt. Von der Ernte über die Reinigung und Sortierung bis zum Transport sind zahlreiche Be- und Verarbeitungsschritte erforderlich. An verschiedenen Stellen kann es hier zu Qualitätseinbußen kommen. Neu entwickelte Sensoren sollen dazu beitragen, kritische Punkte zu überwachen und die Produktqualität von Obst und Gemüse zu verbessern.



Vor allem die immer beliebteren Convenience-Produkte (Abb. 1), also küchen- bzw. verzehrfertig vorbereitete Gemüse und Salatmischungen, unterliegen im Hinblick auf Qualität und Hygiene hohen Anforderungen. Sortieren, Zerkleinern, Waschen und Lagern in der Verpackung, auch unter Transportbedingungen – dies sind besonders kritische Momente, in denen eine entscheidende Qualitätsminderung eintreten kann (Abb. 2). Der entstandene Schaden wird häufig erst im Supermarkt oder beim Konsumenten sichtbar, ohne dass die eigentlichen Ursachen erkennbar sind.

Wissenschaftler des Forschungsverbundes „ProSenso.net2“ haben sich dies zur Aufgabe gemacht. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt, das vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) koordiniert wird, erarbeiten fünf Forschungsinstitute und acht Unternehmen gemeinsam neuartige sensorgestützte Lösungskonzepte, mit denen Prozess- und Produktqualitäten von Obst, Gemüse und Kartoffeln während der Lagerung und beim Transport vor Ort bestimmt werden können.

Keimen auf der Spur

Die Forscher interessiert dabei insbesondere der Nachweis von human- und phytopathogenen Mikroorganismen. Bakterien und Pilze beschleunigen einerseits den Verderb der frischen Produkte und tragen darüber hinaus zur Entstehung von Schimmelpilzgiften (Mycotoxinen) bei. Mikrobiologische Oberflächenkontaminationen auf Gemüse und Salat können unter Umständen erhebliche Lebensmittel-

Abb. 1:
Auch beim Salat werden Convenience-Produkte im Supermarkt immer stärker nachgefragt.

Um die Qualität und Sicherheit insbesondere empfindlicher Frischprodukte zu erhöhen und damit auch dem Verbraucher mehr Sicherheit zu garantieren, ist es notwendig, die einzelnen Verfahrensschritte entlang der Erzeugungskette weiter zu optimieren und ständig zu kontrollieren.



Abb. 2: Washstrecke für Gemüse, Sortieranlage für Äpfel



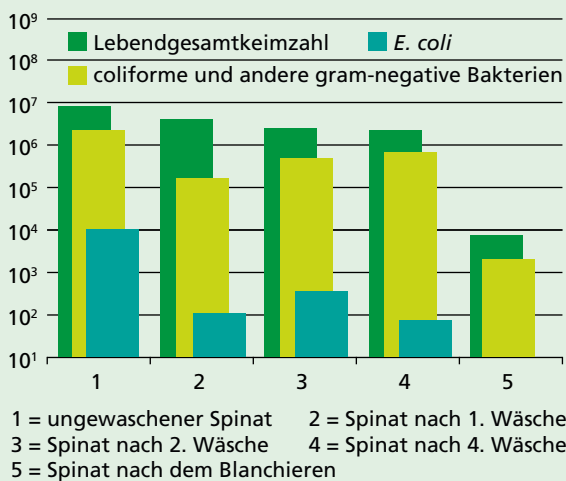
Abb. 3: Schaderreger werden mit Hilfe molekulargenetischer Methoden identifiziert (DNA-Fingerprint).

vergiftungen hervorrufen. Nach der Ernte anhaftende Erde ist in der Regel mit einer wechselnden Anzahl von Mikroorganismen verunreinigt, beispielsweise dann, wenn die Produkte mit den Ausscheidungen von Tieren, also Wild bzw. Vögeln in Berührung kommen. Solche Verunreinigungen lassen sich selbst durch eine gründliche Reinigung in speziellen Gemüsewaschanlagen nicht hinreichend entfernen.

Keimbelastung im Waschwasser

Jüngste, am ATB durchgeführte Untersuchungen haben ergeben, dass Gemüsewaschwasser eine nicht unerhebliche Keimbelastung aufweisen kann. Waschwasserproben aus verschiedenen gemüseverarbeitenden Betrieben wurden mit mikrobiologischen sowie molekulargenetischer Analysemethoden (genetischer Fingerabdruck, Abb. 3) untersucht, um die Höhe und Art der Keimbelastung zu charakterisieren. Möhren- und Spinatwaschwasser waren mit bis zu 106 bzw. 107 Kolonie-bildenden Einheiten je ml Waschwasser (KBE/ml) belastet, wobei überwiegend gramnegative Bakterien detektiert wurden (Abb. 4). Etwa 43 % der detektierten DNA-Sequenzen ließen sich

Abb. 4: Keimzahlen in Waschwasserproben aus der Spinatverarbeitung



potenziellen Krankheitserregern zuordnen, unter anderem Vertretern der Gattungen *Pectobacterium*, *Clostridium* und *Pseudomonas*.

Forschungsziel: ein Biosensor zur Detektion von Schaderregern

Mit Hilfe einer prozessbegleitenden mikrobiologischen Überwachung ließen sich im Falle einer hohen Keimbelastung rechtzeitig gezielte Maßnahmen zur Vermeidung und Reduzierung von Verlusten und Risiken durchführen. Der qualitative Nachweis einer Kontamination könnte über das Waschwasser erfolgen. Bei Einsatz konventioneller Methoden und nach dem aktuellen Stand der Technik ist die Bestimmung des mikrobiellen Kontaminationsgrades im Waschwasser jedoch zu zeitaufwändig und praktisch nicht in die Prozessabläufe integrierbar. Hier soll künftig ein Biosensor helfen, durch eine schnelle Kontrolle Hygienefaktoren zu vermeiden.

Ein neues On-Chip-System, das seit 2006 gemeinsam von Forschern und Entwicklern des ATB, der Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchronstrahlung mbH (BESSY) und des Hightech-Unternehmens ELBAU Elektronik Bauelemente GmbH Berlin entwickelt wird, soll künftig in der Lage sein, vollautomatisch und parallel zur Gemüsewäsche Proben des Waschwassers zu entnehmen und weiter zu verarbeiten. Die Methodik entwickeln die Wissenschaftler am Beispiel der Gemüsewäsche mit dem Ziel, einen Prototyp des Biosensors zu erstellen, der künftig auch für andere Produktbereiche einsetzbar sein soll. Die Untersuchungen wurden mit Möhren und Spinat unter realen Praxisbedingungen durchgeführt. Die Tests beinhalteten auch einen anschließenden Blanchiervorgang.

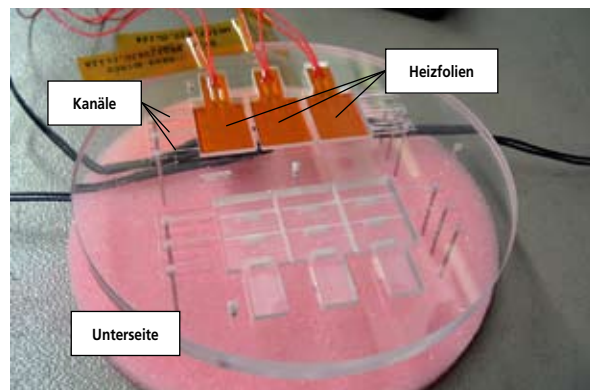


Abb. 5: Prototyp der miniaturisierten PCR-Einheit des On-Chip-Systems.

Der schnelle Nachweis ist entscheidend

Die Qualitätskontrolle muss prozessbegleitend erfolgen. In der Praxis ist Schnelligkeit gefragt, denn wenn die Analyse einer Probe mehr als 15 Minuten benötigt, ist das Obst oder das Gemüse bereits verpackt. Mithin eine ehrgeizige Entwicklungsaufgabe für die Projektbeteiligten! Dabei ist eine Unterscheidung zwischen pathogenen und nicht pathogenen Mikroorganismen nicht einfach. Eine molekulargenetische Methode, mit deren Hilfe selbst kleinste DNA-Mengen der Verderbniserreger zeitnah nachgewiesen werden können und die beim Biosensor

zum Einsatz kommen wird, ist die quantitative Real-Time-Polymerase-Kettenreaktion (Q-PCR). Um diese Methode im miniaturisierten Sensor einsetzen zu können, werden zunächst spezifische Marker für die Bestimmung der relevanten Arten entwickelt und getestet.

Hierzu nutzen die Wissenschaftler die Durchflusszytometrie. Mit dieser, unter anderem in der medizinischen Diagnostik eingesetzten automatisierten Technik werden Zellen und Mikropartikel differenziert und nach Anzahl erfasst. Mit Hilfe von Laserlicht können morphologische und physiologische Eigenschaften von Zellen in einem Flüssigkeitsstrom nach einer Anfärbung mit Fluoreszenzfarbstoffen untersucht werden, während sie nacheinander, quasi im Gänsemarsch, durch eine kleine Messkammer strömen. Mit dieser hochinnovativen Analysetechnik ist es möglich, mehr als 100.000 Zellen pro Minute in Echtzeit zu bestimmen. Anhand der so gewonnenen Erkenntnisse lassen sich spezifische Marker testen, die dann in der PCR zum Einsatz kommen. Auf Basis der Forschungsergebnisse werden aktuell am ATB in einem anderen Projekt innovative Hygienisierungsverfahren wie die Oberflächenbehandlung mit Kaltplasma erprobt. Da die Durchflusszytometrie es ermöglicht, zwischen lebenden, subletal und letal geschädigten Bakterien zu differenzieren, werden die Messprotokolle auch zur Bewertung des Verfahrenserfolgs eingesetzt. Als Ergebnis der Forschungsarbeit wird ein miniaturisiertes, robustes und automatisierbares PCR-Verfahren verfügbar sein: ein echter Biosensor (Abb. 5). Dieser bildet das Herzstück eines kompakten Geräts, das einsetzbar an verschiedenen kritischen Stellen der Verarbeitungskette Verderberreger am Frischeprodukt spezifisch und online aufspüren kann. Der neue Biosensor, der für eine PCR etwa fünf Minuten braucht, soll in den nächsten Jahren Praxisreife erlangen.

Prognosemodell für Produktion und Handel

Eine weitere Entwicklungsaufgabe des Verbundprojektes „Prosenso. Net2“ ist die Erstellung eines technischen Systems zur lückenlosen Überwachung des Frischezustandes von Obst und Gemüse von der Ernte bis zur Verkaufstheke – zukünftig vielleicht bis zum Kühlschrank des Konsumenten.

Unvorhersehbare Vorkommnisse, beispielsweise längerer Kühlauflauf oder ein Transportstopp unter ungünstigen Klimabedingungen wie zum Beispiel starker Sonneneinstrahlung, sind im Geschäft mit der Frischware nicht immer zu verhindern. Für ein Handelsunternehmen stellt sich dann die Frage, wie mit der Frischware umzugehen ist, um den Schaden gering zu halten oder abzuwenden. Gerade bei Obst und Gemüse leidet die Frischequalität durch ungeplante Temperaturschwankungen und Wasserverluste. Nur wenn solche Vorkommnisse schnell bemerkt werden, können der Produzent oder der Händler prompt und angemessen reagieren.

Umgebungsbedingungen während des Transports und im Kühllager haben direkten Einfluss auf die Qualität und die (Rest-)Haltbarkeit der Frischware. Das modulare intelligente System, das vom ATB zusammen mit der Berliner Firma ESYS GmbH entwickelt wird, besteht aus aktiven RFID-Etiketten (Radio Frequency Identification; auf diesen Etiketten lassen sich produktspezifische Daten, z.B. der Temperaturverlauf, speichern), funkbetriebenen Dataloggern und

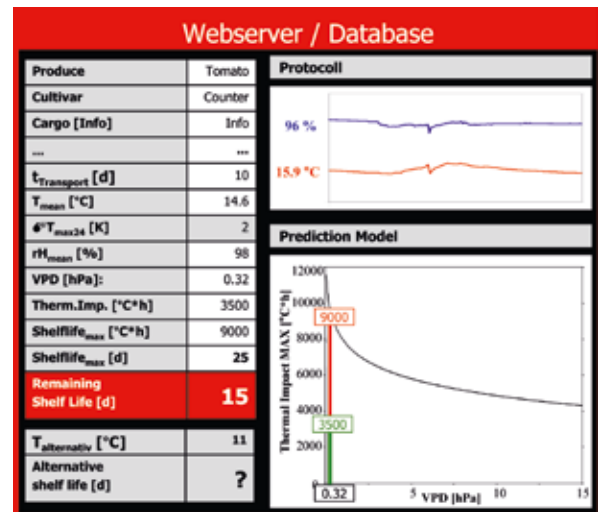


Abb. 6: Das Web-basierte Vorhersagemodell zeigt die Resthaltbarkeit der Tomate bei veränderlichen Umgebungsbedingungen nach der Ernte an.

einer datenbankbasierten Web-Anwendung (Abb. 6). Zurzeit bauen die Wissenschaftler eine Datenbank mit produktspezifischen Vorhersagemodellen auf, die auch den Einfluss unterschiedlicher gängiger Verpackungen auf das Verhalten der Frischware berücksichtigt. Das System soll zukünftig dem Produzenten, dem Händler und dem Verbraucher erlauben, anhand einer automatisch erstellten Zustandsbewertung und Haltbarkeitsprognose für die weitere Vermarktung und den Verbrauch der Ware die richtigen Entscheidungen zu treffen. Der Produktzustand ist dabei jederzeit über das Internet abrufbar.

Sensoreinsatz entlang der gesamten Kette

Biosensor und Prognosemodell sind nur zwei von sieben Forschungsaufgaben innerhalb des ambitionierten Themenspektrums von „Prosenso.Net2“. So arbeiten die ATB-Wissenschaftler auch an einem Sensorsystem, das äußerlich nicht erkennbare Schädigungen nach mechanischer Belastung bei Äpfeln, Kiwis oder anderen Früchten in Zukunft spektrometrisch erfassen soll.

Dabei haben die Forscher die gesamte Verfahrenskette der empfindlichen Erzeugnisse im Visier. Die neuartigen Sensor-Kombinationen und eine komplexe Datenvernetzung tragen dazu bei, die Prozessführung insgesamt zu optimieren. Bei der Bewertung der Prozesse über Kettengrenzen hinweg werden ökologische und sozio-ökonomische Kriterien in einem ganzheitlichen Ansatz einbezogen. So können letztlich weitere Nachhaltigkeitspotenziale in der Produktion pflanzlicher Lebensmittel erschlossen werden. ■

ATB
Agrartechnik Bornim

Helene Foltan, Antje Fröhling und
Dr. Christiane von Haselberg, Leibniz-
Institut für Agrartechnik Potsdam-
Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam.
E-Mail: hfoltan@atb-potsdam.de