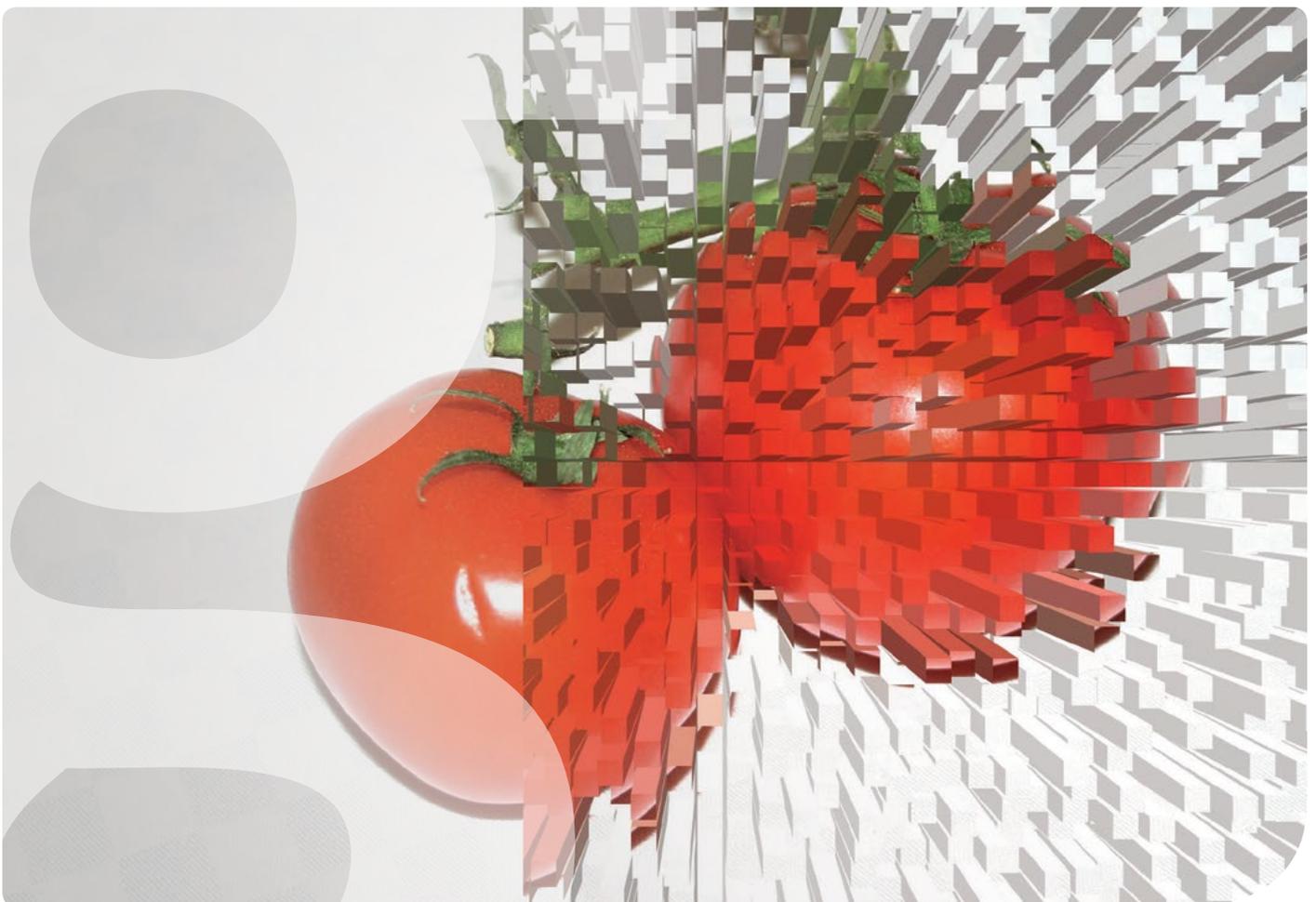


# Detektion und Analyse von Lebensmitteln

Teil 6 aus „Neue Verfahren und Techniken bei der  
Lebensmittelherstellung und Lebensmittelversorgung“



## Impressum

Herausgeber, Medieninhaber und Hersteller:  
**Bundesministerium für Gesundheit, Sektion II**  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

**Autorinnen und Autoren:**

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Emmerich Berghofer  
Ass. Prof. Univ. Doz. Dr. Mag. Regine Schönlechner  
DI Julia Schmidt

**Für den Inhalt verantwortlich:**

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Emmerich Berghofer

**Cover-Foto:**

Magdalena Amann; Idee: Madeleine Gromann und Magdalena Amann

**Druck:**

Kopierstelle des BMG, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

**Internet:**

Dieser Auszug Teil 6 sowie die gesamte Studie stehen als Download auf der Website des BMG unter [www.bmg.gv.at](http://www.bmg.gv.at) zur Verfügung.

**Erscheinungstermin:**

Studie: Juli 2015 / Auszug Teil 6: Mai 2016

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Neue Detektionsmethoden in der Lebensmittelproduktion.....	3
3. Neue Lebensmittel-Analysetechniken.....	7
3.1. Sensortechnik im Bereich Lebensmittel.....	7
3.1.1 Integrierte Sensoren in der Verpackung (⇒ intelligente Verpackung).....	8
3.1.2 Externe Sensortechnik.....	9
3.2. Künstliche Sinne für die Ermittlung der Lebensmittelqualität.....	10
3.2.1. Elektronische Nase.....	10
3.2.2. Elektronische Zunge.....	11
3.3. Molekulares Prägen ( <i>molecular imprinting</i> ).....	11
3.4. Molekulare Typisierung ( <i>molecular typing, microbial fingerprinting</i> ).....	12
4. Metagenomik ( <i>agri-food metagenomics</i> ).....	14
5. Literatur.....	15

# 1. Einleitung

Durch die Fortschritte in der Mikroelektronik und der Nanotechnologie ist gegenwärtig eine stille und schleichende Revolution im Gange, welche die Steuerung, Kontrolle und Überwachung der Lebensmittelherstellung, sowie die Kontrolle, Untersuchung und Charakterisierung der Lebensmittel entscheidend verbessern und erleichtern wird. Diese beiden Technikbereiche überschneiden sich immer mehr und verwachsen miteinander. Dadurch eröffnen sich neue Möglichkeiten, deren Potential derzeit gar noch nicht abschätzbar ist.

Beispielsweise kann bei der Lebensmittelherstellung die Qualitätskontrolle verstärkt von den Endprodukten zu den Ausgangsstoffen verlagert werden. Das bedeutet, dass nicht zuerst Lebensmittel produziert werden, und dann deren Qualität bestimmt wird, sondern zuerst die Rohstoffe auf ihr Potential untersucht und selektiert werden. Rohstoffe, aus denen keine Lebensmittel mit den entsprechenden Qualitätsanforderungen erzeugt werden können, gelangen gar nicht in die Produktionslinie (siehe Kap. 2).

Bei der Kontrolle und Analyse von Lebensmitteln ist es vorstellbar, dass diese zukünftig teilweise durch die Konsumentinnen und Konsumenten selbst erfolgen kann. Am Körper getragene Kleinstgeräte (*wearable devices*<sup>1</sup>) erobern unser Leben. Sie können mit entsprechenden Miniaturanalysengeräten und Nanosensoren ausgestattet werden, die alles Mögliche messen können, auch die Qualität von Lebensmitteln. Ein in dieser Hinsicht bereits existierendes Beispiel für tragbare Analysengeräte sind Blutzuckermessgeräte für Diabetiker.

Die Entwicklungen verlaufen so rasch und sind so komplex, dass eine erschöpfende Behandlung hier nicht möglich ist. Es können nur einige Möglichkeiten beispielhaft aufgezeigt werden.

---

<sup>1</sup> *wearable devives* – Kleinstcomputer mit allen möglichen Funktionen, wie z.B. Mobiltelefone, Computeruhren

## 2. Neue Detektionsmethoden in der Lebensmittelproduktion

Die Rohstoffeingangskontrolle und Produktausgangskontrolle sind wesentliche Elemente zur Generierung und Einhaltung hoher Qualitätsstandards bei der Lebensmittelproduktion. Bei der Eingangskontrolle an der Produktlinie stehen Verunreinigungen, Rohstoffverarbeitungseigenschaften und die Rohstoffzusammensetzung im Fokus der Untersuchungen. Bei der Ausgangskontrolle an der Produktlinie geht es vor allem um Fremdkörperdetektion in den Lebensmittelverpackungen. Produktsicherheit und Produkthaftung stellen nämlich heute für alle Produzenten eine große Herausforderung dar.

Die früher üblichen Sichtkontrollen und manuelle Aussortierung durch die Beschäftigten an der Produktlinie sind aus Kostengründen heute kaum mehr möglich und üblich. Die Menschen wurden durch maschinelle Detektions- und Selektierungsmethoden ausgetauscht. Das menschliche Auge wurde dabei durch Farbfernsehkameras ersetzt. Die aufgenommenen Bilder werden mit einer Bilderkennungs- und -verarbeitungssoftware ausgewertet ( $\Leftrightarrow$  *computer vision technology*). Die erhaltenen Informationen werden in weiterer Folge in Befehle zur Auslösung bestimmter Aktionen umgesetzt, wie beispielsweise zur Sortierung oder Aussortierung von geprüften Elementen (Rohstoffstücke, Packungen). Auf diese Weise lassen sich beispielsweise geröstete Kaffeebohnen einzeln aufnehmen und je nach Röstgrad (Farbgrad) sortieren. Die Kaffeebohnen fließen dabei über eine breite Rutsche in einer Schicht, wie ein Vorhang, an einer oder mehrerer Farbfernsehkameras vorbei. Von jeder einzelnen Kaffeebohne wird ein Bild aufgenommen und mit einem vorgegebenen Farbgrad verglichen. Entspricht dieser, wird die Bohne weiter fallen. Wenn nicht, erhält eine pneumatische Düse vom Computer einen Befehl und schießt diese Bohne mit einem Luftstrahl aus dem Produktstrom heraus. In ähnlicher Weise kann das bei der Sortierung von fermentierten Tee, bei der Eingangskontrolle von Getreide in der Müllerei (Aussortierung von Fremdsamen, Bruchkörnern etc.), oder bei der Endkontrolle von Kartoffelchips oder Pommes frites erfolgen. Also überall dort, wo sich visuelle Unterschiede in Form, Größe, Farbe und Textur ergeben. Solche Sortiergeräte sind heute Stand der Technik, werden aber noch viel zu wenig von den Lebensmittelproduzenten genutzt, obwohl sie auch für kleine Hersteller sinnvoll und leistbar wären.

Der Nachteil solcher bildgebenden Systeme ist, dass sie nur sichtbare, äußere Merkmale erfassen können. Innere Eigenschaften werden nur dedektiert, wenn sie äußere Veränderungen oder Unterschiede ergeben. Der nächste Schritt war deshalb, statt Normallicht auch andere Bereiche des elektromagnetischen Spektrums zur Beleuchtung der Objekte zu verwenden und spektrale Messmethoden einzusetzen, welche die Reflexion, Transmission, Fluoreszenz oder Raman-Streuung erfassen. Landwirtschaftliche Produkte und Lebensmittel enthalten alle funktionelle Molekülgruppen (C-H-, N-H- und O-H-Gruppen), die eng mit Oberton- und Kombinationsschwingungen der Spektren von nahem Infrarotlicht (NIR) korreliert werden können (Pu et al., 2015). Damit kann ein Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Spektren und Inhaltsstoffen hergestellt werden, beziehungsweise letztere sehr rasch und zerstörungsfrei ermittelt werden. Ausgehend von NIR-Laborspektrometern hat diese Technik schon seit längerer Zeit Eingang in die Produktionslinien in Form von *in-line*-Geräten gefunden (z.B. kontinuierliche Erfassung des Proteingehaltes von Getreidekörnern).

Spektrale Einzelpunktmessungen setzen aber ein homogenes Probenmaterial voraus, was aber in der Praxis kaum gegeben ist. Außerdem sind die einzelnen Stücke eines Rohstoffes oder Lebensmittels hinsichtlich der Verteilung von Inhaltsstoffen sehr inhomogen. Dieses Problem kann gelöst werden, indem bildgebende und spektrale Scans kombiniert werden, um spektrale Information in

räumlichen bzw. örtlichen Details von Proben zu erhalten. Diese Vorgangsweise wird als **Bild gebende oder ortsauflösende Spektroskopie (*hyperspectral imaging* - HSI)** bezeichnet (Pu et al., 2015). Solche Systeme kommen aus der Fernaufklärung mit Infrarotkameras aus Flugzeugen oder Satelliten und stehen im Bereich der Lebensmitteltechnik am Beginn ihres Einsatzes.

Mit hyperspektralen Spektrometern wird die 2-D-Information (Intensität gegen Wellenlänge) um die dritte Dimension, den Ort, erweitert. Dazu muss der Messkopf oder das zu messende Objekt definiert bewegt werden (Scannen bzw. rastern mit Zeilenkameras) (Abb. 6.2.1). Spektrale Zeilenkameras liefern für jeden Bildpunkt der Zeile ein komplettes Spektrum, wobei die Größe des Bildpunktes von der Auflösung abhängig ist. Daraus können in der nachfolgenden Datenverarbeitungskette viele relevante Informationen erhoben werden (INSORT, 2015). Die resultierenden Messwerte lassen sich in einem dreidimensionalen Raum darstellen. Es entsteht ein spektrales Bild, welches auf einer Achse die Ortsinformation, auf der zweiten Achse die Wellenlängeninformation und auf der dritten Achse die spektrale Intensitätsinformation enthält.

HSI-Systeme bestehen aus den vier folgenden Komponenten:

- (1) Bildgebende Komponente
- (2) Beleuchtungsquelle bzw. kann auch die Oberfläche selbstleuchtend sein.
- (3) Probenstück (z.B. Förderband)
- (4) Computer mit entsprechender Rechnerkapazität und geeigneter Auswertungssoftware



Abb. 6.2.1: Prinzip der bildgebenden Spektroskopie (*hyperspectral imaging*) (INSORT, 2015)

Mit der bildgebenden Spektroskopie steht eine schnelle, kontinuierliche, zerstörungsfreie Messmethode zur Verfügung, die in Zukunft die Rohstoffeingangs- und Produktausgangskontrolle in der Lebensmitteltechnik revolutionierend in folgender Weise verändern kann:

- a) Die Rohstoffeingangskontrolle kann kontinuierlich hinsichtlich der Zusammensetzung und den daraus resultierenden funktionellen und sensorischen Eigenschaften erfolgen. Durch Kopplung des HSI-Systems mit einer nachgeschalteten Effektorik kann eine (Aus-)Sortierung nach allen möglichen Kriterien erfolgen. Nicht geeignete Rohstoffpartien bzw. einzelne Rohstoffstücke werden ausgeschleust, gelangen gar nicht in die Produktionskette und müssen nicht mühselig und kostenintensiv als fehlerhafte Endprodukte aussortiert werden.

- b) Kontinuierliche Überwachung von Verarbeitungslinien an kritischen Stellen. (Praktisches Beispiel: In Abhängigkeit der mittels bildgebender Spektroskopie kontinuierlich ermittelten Trockensubstanz von geschnittenen Kartoffeln werden die Durchsatzzeiten der Fritteuse und der Trocknung gesteuert. Die gewünschte Endtrockensubstanz kann dadurch präzise eingehalten werden, ohne, wie derzeit, aus Sicherheitsgründen eine Über Trocknung vorzunehmen.)
- c) Kontinuierliche Qualitätskontrolle der Endprodukte

Laut Pu et al. (2015) ist die HSI eine Messmethode mit großem Potential, wobei aber nach Ansicht dieser Autoren noch einige Hindernisse für einen praktischen Echtzeit-Einsatz überwunden werden müssen. Die Autoren sind mit ihrer Ansicht zu pessimistisch, weil der technische Einsatz der HSI schon verwirklicht wurde. Erfreulicherweise ist eine österreichische Firma auf diesem Gebiet führend. Die Fa. Insort GmbH (INSORT, 2015) hat ihre Kenntnisse und Erfahrungen bei der Klassifizierung und Sortierung von Kunststoffabfällen erfolgreich auf Lebensmittel und Lebensmittelrohstoffe übertragen und in Anlagen umgesetzt. Abb. 6.2.2 zeigt ein bereits in der Praxis verwirklichtes Beispiel, wo Kartoffel schon vor der Verarbeitung ausgeschleust werden können, welche später fehlerhafte Pommes frites ergeben. Es handelt sich um sogenannte „sugar ends“-Kartoffel (Synonymbezeichnungen: „trans-lucent ends“, „jelly ends“ und „glassy ends“). In diesen Knollen tritt eine durch diverse Umweltfaktoren hervorgerufene Anreicherung von reduzierenden Zuckern am Stammende ein, die verstärkt bei den bevorzugt zur Pommes frites-Herstellung verwendeten, langknolligen Kartoffelsorten auftritt. Die Erscheinung ist von großer ökonomischer Bedeutung, weil die lokal akkumulierten reduzierenden Zucker mit Aminosäuren durch Maillardreaktionen Pommes frites mit dunkel verfärbten Stellen ergeben. Diese Stücke sind stark qualitätsbeeinträchtigend und müssen aufwändig aussortiert werden. Das Problem ist, dass die Bräunung erst unter Erhitzung, also beim Kunden oder bestenfalls in späteren Prozessschritten im verarbeitenden Betrieb auftritt, wodurch große Probleme mit Reklamationsware entstehen können. Mit der HSI können Kartoffelknollen, die Bereiche mit erhöhter Zuckerkonzentration haben, erkannt und vor der Weiterverarbeitung ausgeschleust werden. Der Fa. Insort ist damit eine großindustrielle Lösung dieses Problems gelungen.

Abb. 6.2.3. zeigt Beispiele der Fremdkörperidentifikation mit dem HSA-System der Firma Insort GmbH.

Diese beiden praktischen Beispiele zeigen schon das große Potential dieser zukunftsweisenden Technik. Im Folgenden werden weitere, mögliche Einsatzbeispiel dazu angeführt:

- Detektion von Parasiten in Rohstoffen
- Eine Detektion und Quantifizierung von Stücken, die mit Mycotoxinen belastet sind, erscheint prinzipiell möglich. Mycotoxine sind nie gleichmäßig über Rohstoffpartien verteilt, sondern es sind jeweils nur einige Körner, Samen oder Früchte befallen. Mit herkömmlichen Analysetechniken sind diese nur schwer zu identifizieren. Wenn es gelingt, diese schon vor der Verarbeitung zu ermitteln und auszusortieren, wäre das ein immenser Vorteil hinsichtlich der Reduzierung der Mycotoxinbelastung.
- Klassierung jedes einzelnen Getreidekorns nach dessen Proteingehalt und -qualität. Jedes Getreidekorn könnte damit der optimalen Bestimmung zugeführt werden.
- Klassierung von einzelnen Obststücken nach deren Reifegrad, Zuckergehalt und Festigkeit
- Identifizierung von an der Oberfläche bzw. knapp unterhalb der Oberfläche befindlichen Fehlstellen (z.B. Druckstellen)
- Lokalisierung von Defekten von Obst (z.B. dem „brown-heart“-Defekt in Birnen)
- Ermittlung des Zuckergehalts von Zuckerrüben

- Klassierung von Ganzfischen nach Frische, Größe, Defekten, Textur und Fettgehalt
- Identifizierung von Krankheiten, Verschmutzungen und Frische von Hühnern
- Klassifizierung von Steaks, Filets, Faschiertem nach Textur, Fettgehalt usw.

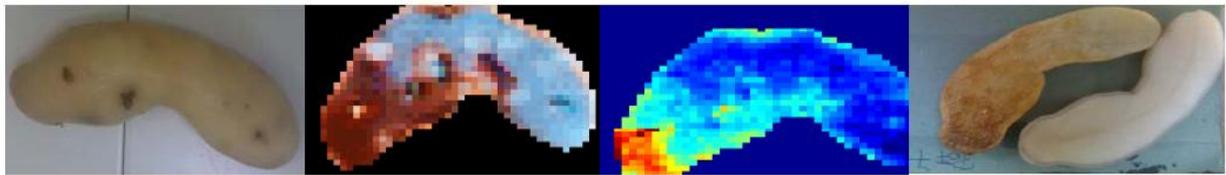


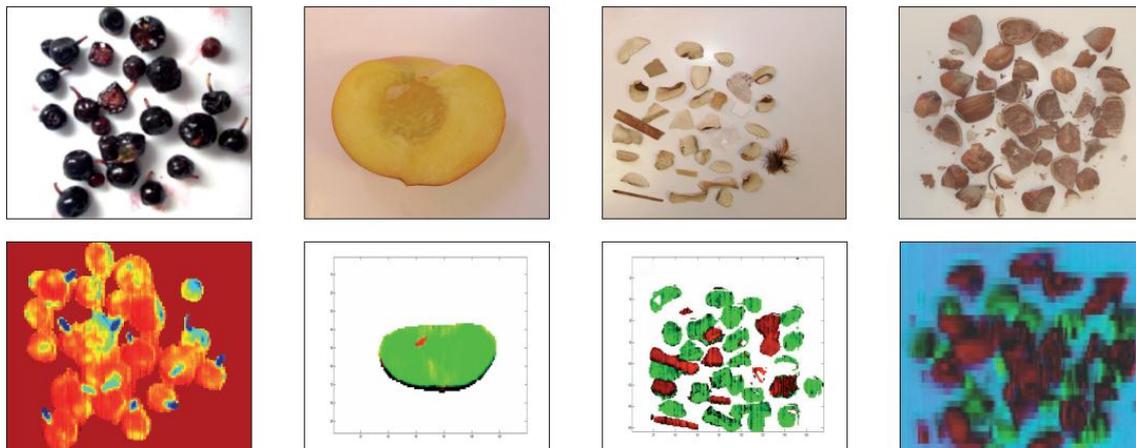
Bild einer Farbkamera  
Kein Sugarend Defekt  
sichtbar

Chemisches Abbild durch eine Chemical Imaging Camera:  
Aufgrund der unterschiedlichen chemischen  
Zusammensetzung werden Sugarends sichtbar

Der Sugarend Defekt sichtbar  
nach dem Frittieren und  
unsichtbar vor dem Frittieren

Abb. 6.2.2: Inhaltsstoffbestimmung und –verteilung mittels bildgebender Spektroskopie (*hyperspectral imaging*) am Beispiel von Kartoffeln (INSORT, 2015)

Anwendungsbeispiele: Farbkamerabild obere Reihe; „Chemical Imaging“ untere Reihe:



Heidelbeeren gefroren  
Heidelbeeren (rot)  
Stängel, Blätter (hier in blau) und  
Heidelbeerkäfer sind detektierbar

Pfirsich  
Kernsplitter (rot eingefärbt) klar  
abgegrenzt zum Fruchtfleisch  
(grün).

Champignons getrocknet  
Fremdkörper wie z.B. Holz,  
Papier und Kunststoffolie sind in  
rot eindeutig sichtbar gemacht

Haselnüsse  
Haselnusschalen in rot und  
Nüsse in grün – das chemische  
Abbild zeigt eine eindeutige  
Trennung

Abb. 6.2.3: Fremdkörperdetektion mittels bildgebender Spektroskopie (*hyperspectral imaging*) (INSORT, 2015)

Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass sich die HSI-Technik mit ihrer weiteren Entwicklung und Optimierung in Zukunft in der Lebensmittelverarbeitung auf breiter Front durchsetzen wird. Die daraus resultierenden Vorteile ergeben für alle Player in der Lebensmittelversorgungskette große Vorteile, auch für die Konsumentinnen und Konsumenten.

## 3. Neue Lebensmittel-Analysetechniken

Kuhlmeier et al. (2012) fassen die grundlegenden Entwicklungen auf diesem Gebiet sehr gut zusammen. Demnach gehören mikro-elektromechanische Systeme (*micro-electro-mechanical systems – MEMS*) zum Stand der Technik in vielen Bereichen, wie der Kommunikations- und Automobilindustrie. MEMS sind miniaturisierte Geräte, die aus mechanischen und elektronischen Bauteilen bestehen und in Massenfertigung erzeugt werden. Der naheliegende Schritt war es nun, MEMS auch zur Konstruktion von Diagnosegeräten, bzw. miniaturisierten Labors oder Laborfunktionen einzusetzen. Der Begriff **Lab-on-a-chip** charakterisiert diese Entwicklung sehr treffend. Diese miniaturisierten, automatisierten Geräte ersetzen große Labor(geräte), sind überall und jederzeit einsetzbar und können auch von Laien bedient werden.

Ein Lab-on-chip besteht aus einer miniaturisierten Plattform, bei der die zu untersuchende Probe (Flüssigkeit, Gas) in Mikrokanälen mittels eines Antriebelementes ( $\Rightarrow$  *Actuator*)<sup>2</sup> zu den funktionellen Bereichen transportiert wird. Die funktionellen Bereiche sind integrierte Mikrosensoren, an denen Moleküle selektiv binden oder eine (bio)chemische Reaktion auslösen. Dieses Ereignis wird durch den Sensor in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches aufgezeichnet wird, ausgelesen oder anderweitig nutzbar ist.

Nach Kuhlmeier et al. (2012) werden MEMS durch Nanotechnologie teilweise oder komplett neu gestaltet und die Miniaturisierung in den Nanobereich fortgesetzt. Es entstehen Nanokanäle, Nanoactuatoren, Nanosensoren usw. Die erforderlichen Probenmengen werden ebenfalls immer kleiner und könnten im Biobereich zur Analyse einer einzelnen Zelle führen.

### 3.1. Sensortechnik im Bereich Lebensmittel

Ein Sensor für Lebensmittelqualität ist ein Gerät, das auf eine oder mehrere Eigenschaften der Umgebung oder des Analyts (= die zu analysierende Substanz) anspricht und die Reaktionen in ein Signal umwandeln kann. Das Signal kann direkt über den gewünschten Qualitätsfaktor Informationen liefern, oder eine bekannte Relation zu diesem aufweisen. Die Informationen müssen oft erst durch komplexe Datenverarbeitungen extrahiert werden (Holm, 2003).

Sensoren lassen sich aufgrund ihrer Funktion in folgende Klassen einteilen (Holm, 2013):

- Biosensoren, zu denen ein biologischer Stoff, wie Enzyme oder Antikörper gehören.
- Sensoren, die auf einem elektrischen Signal basieren [z.B. potentiometrisch-chemische Sensoren, Metalloxyd-Halbleiter (MOS), Feldeffekttransistoren (FET) oder leitende Polymer-Sensoren (CPS)]
- Sensoren, die auf Interaktion mit elektromagnetische Wellen basieren; insbesondere Sensoren, die sichtbare, ultraviolette und Infrarotwellen (NIR, NIT, FTIR, Thermographie), Mikrowellen, Radiowellen, Röntgenstrahlen oder Hochfrequenzwellen (nukleare oder elektronische magnetische Resonanz) verwenden,
- Sensoren, die auf der Interaktion mit Ultraschallwellen basieren (100 kHz – 1 MHz)

<sup>2</sup> Aktuator – z. B. Mikropumpe, piezoelektrischer Motor, deren Antrieb elektrisch, durch Licht, pH- oder Temperaturunterschiede erfolgt.)

- Sensoren, die auf Frequenzvariationen basieren [z.B. Quartz Crystal Microbalance (QCM) und Surface Acoustic Waves (SAW)]
- Sensoren, zu denen selektive Mittel gehören, wie z.B. molekulare Filme oder komplexbildende Filme.

### 3.1.1 Integrierte Sensoren in der Verpackung (⇒ intelligente Verpackung)

Zeit-Temperaturindikatoren gibt es schon seit mehreren Jahrzehnten. Solche *Smart-labels* können auf Lebensmittelverpackungen angebracht oder integriert werden und zeigen den Frischzustand oder die Haltbarkeit des Lebensmittels an. Im Prinzip beruhen diese Indikatoren auf temperatur- und/oder zeitabhängigen physikalischen, chemischen, enzymatischen oder mikrobiologischen Reaktionen.

Eine breitere Anwendung ist aber bis jetzt ausgeblieben. Das kann auf erhöhte Verpackungskosten zurückzuführen sein, oder auf mangelnde Akzeptanz seitens der Produzenten, des Handels oder der Verbraucher. Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes IQ-freshlabel wurde in mehreren EU-Ländern die Akzeptanz solcher Indikatoren erhoben (IQ-freshlabel, 2014). Sowohl Hersteller als auch der Handel sehen darin Vorteile; und die Konsumentinnen und Konsumenten wären angeblich sogar bereit bis zu 20 Cent mehr dafür zu bezahlen.

Derzeit laufen weltweit intensive Forschungen um *Smart labels* und elektronische Etiketten weiter zu entwickeln. Die Indikatoren werden durch Sensoren ersetzt, die nicht nur Zeit und Temperatur, sondern auch andere Parameter aufzeichnen und speichern können.

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat eine Sensorfolie entwickelt, die in die Innenseite der Verpackung integriert werden kann und auf biogene Amine reagiert (Trupp, 2011). Letzteres sind chemische Verbindungen, die bei den Zersetzungsprozessen von Fleisch und Fisch während der Lagerung entstehen. Werden diese nun in der Verpackung freigesetzt, reagiert der Indikatorfarbstoff der Sensorfolie ab einer bestimmten Konzentration mit ihnen und verfärbt sich von gelb zu blau.

An der TU-München (Anonym, 2013) wird an Gassensoren auf der Basis von Kohlenstoff-Nanoröhrchen gearbeitet, die kleinste Veränderungen der Konzentration von Ammoniak, Kohlendioxid und Stickstoffdioxid registrieren können. Sie arbeiten bei Raumtemperatur und benötigen kaum Energie. Solche Sensoren lassen sich kostengünstig auf flexible Materialien applizieren. Es ist leicht vorstellbar, solche flexiblen Einwegsensoren in Lebensmittel-Kunststoffverpackungen zu integrieren. Die gemessenen Gaskonzentrationen wären ein viel genauerer Indikator für den aktuellen Frischzustand eines Lebensmittels als ein routinemäßig aufgedrucktes Haltbarkeitsdatum.

Im laufenden EU Forschungsprojekt TOXDTEXT sollen dünne flexible Chips entwickelt werden, die in jede Verpackung integrierbar sind (TOXDTECT, 2015). Völlig berührungslos sollen Sensoren die Schutzgasatmosphäre in den Fleischverpackungen analysieren. Gemessen werden flüchtige Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen (z. B. Aldehyde), die an der Sensoroberfläche andocken. Ein externes Lesegerät, das auch den erforderlichen Strom für die Chips liefert, kann dann die Konzentration dieser Stoffe in Echtzeit feststellen. Eine Software errechnet aus den Daten, wie lange das Fleisch noch haltbar ist.

Sensoren können mit RFID-Chips<sup>3</sup> verbunden werden, die ein berührungsloses Auslesen oder Anzeigen der Daten ermöglichen. RFID-Systeme bestehen aus einem sehr kleinen Transponder (Sender) und einem externen Lesegerät und sind heute in vielen Handelsbranchen üblich und als Funketiketten bekannt. Mit Kunststoffelektronik lassen sich wahrscheinlich Systeme aus Sensor/Signalkonverter/RFID-Chip zu einem Preis unter einem Cent herstellen (Pichler, 2013). Damit sind sie theoretisch für einzelne Lebensmittelkleinpackungen anwendbar. Das Auslesen der gesammelten Informationen (z.B. Frischezustand des Lebensmittels) wäre durch die Endkunden auch mit dem Smartphone möglich.

Die nächste Stufe bzw. der nächste logische Schritt wäre, dass in der Verpackung integrierte Sensoren nicht nur die sensorische und/oder hygienische Qualität messen und anzeigen (⇒ passive Methode), sondern steuern (⇒ aktive Methode). Beispielsweise könnten sie die kontrollierte, sukzessive Freisetzung von Antioxidantien in Abhängigkeit vom gemessenen Sauerstoffgehalt, sowie die von Konservierungsmitteln je nach Keimgehalt regeln.

Noch viel leichter als in Lebensmittel-Kleinpackungen lassen sich solche Sensoren in größere Gebinde, Lagerbehälter oder auch im Haushaltskühlschrank integrieren. Die elektronische Etikette macht die lückenlose gesamte Geschichte und den Zustand des Inhaltes jederzeit und durch Funk überall verfügbar.

Kommt diese Technik, wenn alle Kostenprobleme gelöst sind, irgendwann einmal zum Einsatz, entstehen „**gläserne Lebensmittel**“. Jede Lebensmittelverpackung oder der Kühlschrank „spricht mit uns“. Können die Konsumentinnen und Konsumenten mit dieser Fülle an Informationen umgehen? Ist es nützlich, wenn der Kühlschrank unserem Smartphone meldet, dass ein Lebensmittel abgelaufen ist, oder gleich über das Internet automatisch eine Nachbestellung macht? Ist weniger mehr? Möchte der Handel wirklich, dass die Konsumentinnen und Konsumenten alle Informationen erhalten? Viele offene Fragen, die wahrscheinlich nur durch eine intelligente Nutzung dieser Technik in den intelligenten Verpackungen zu lösen sind.

### 3.1.2 Externe Sensortechnik

Miniaturisierte Sensoren und Sonden in „*wearable devices*“ werden es in Zukunft ermöglichen, den Frischezustand oder die Qualität von Lebensmitteln sehr rasch zu erfassen. Auch auf diesem Gebiet gibt es schon praktische Beispiele.

Auf dem Fischmarkt in der Hafenstadt La Rochelle, Frankreich ist ein an der dortigen Universität entwickeltes mit Geruchssensoren bestücktes, tragbares Messgerät (e.fish) im Einsatz, welches die Resthaltbarkeit der angebotenen Fische misst.

Ein an der UNI Bremen entwickeltes, auf einem Hochfrequenzverfahren basierendes Handgerät kann herausfinden, ob ein Fisch während der Lagerung einfach oder doppelt gefroren wurde. Diese elektronische Spektroskopie ermittelt den Abbaugrad von Proteinen aus den Änderungen der Impulssignale. Es ist damit möglich innerhalb von Sekunden die mögliche Lagerdauer auf ein bis zwei Tage genau zu bestimmen (Anonym, 2015 a).

Mit einem taschenbuchgroßen Scanner, der farbiges Laserlicht aussendet, kann der Frischezustand von Fleisch ermittelt werden. Je nach Frische des Fleisches wird das Laserlicht unterschiedlich gestreut (Raman- und Fluoreszenz-Spektroskopie). Die ermittelten Informationen werden

---

<sup>3</sup> RFID = *radio-frequency identification*

über einen Funkchip an eine integrierte Etikette gesendet und gespeichert und lassen sich von dort jederzeit wieder auslesen (Anonym 2015 b).

An der Universität Innsbruck arbeitet man daran, mittels eines tragbaren Messgerätes, welches auf der Nah-Infrarotspektroskopie basiert, die Qualität von Äpfeln (z.B. Reifegrad, Herkunft) und anderen Lebensmitteln zu messen. Ziel der Forscher ist es, ein für den Alltagsgebrauch durch die Konsumentinnen und Konsumenten nutzbares Gerät zu entwickeln (Anonym, 2014).

## 3.2. Künstliche Sinne für die Ermittlung der Lebensmittelqualität

Wir nutzen zur Erkennung und zum Genuss von Lebensmitteln alle unsere Sinne. Der Ersatz unserer Sinne durch Messgeräte ist beim Hörsinn, Tastsinn (Texturmessung) und Farbsinn schon lange und sehr gut möglich. Spektral-Farbmessgeräte können beispielsweise viel exakter und objektiver Farbnuancen und -intensitäten erkennen und vergleichen.

Aufgrund ihrer Komplexität ist die Nachahmung des Geruchs- und Geschmacksinnes nicht mehr so leicht zu bewältigen. Trotzdem gibt es auch hier schon Messgeräte im Einsatz, mit denen das zumindest teilweise gelingt. Mit den Fortschritten in der Sensortechnik und Mikroelektronik sind hier in Zukunft ebenfalls maßgebliche Verbesserungen zu erwarten.

### 3.2.1. Elektronische Nase

Unser Geruchssinn ermüdet leicht und ist subjektiv. Eine objektive, reproduzierbare, instrumentelle Messung des Geruchs könnte deshalb in vielen Bereichen, u.a. auch bei der Lebensmittelherstellung zur Qualitätskontrolle von großem Vorteil sein. Solche Instrumente werden als elektronische Nasen (*electronic noses*) bezeichnet, existieren schon seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts und sind kommerziell verfügbar (Loutfi, 2015).

Eine elektronische Nase besteht aus einer Reihe von Sensoren, die auf unterschiedliche Stoffe und Merkmale ansprechen, und einem Musterkennungssystem. Die ersten Systeme basierten auf massenspektrometrischen und gaschromatographischen Methoden. Dabei werden die in einer Probe enthaltenen, einzelnen Stoffe aufgetrennt und detektiert.

Die nächste Generation benutzt Gassensoren, die jeweils spezifisch auf einen Stoff ansprechen. Mehrere solcher elektrochemischer Gassensoren werden zusammengeschaltet. Das Messprinzip zur Erfassung einzelner Stoffe kann auf allen oben angeführten Sensortechniken beruhen.

Die von den einzelnen Sensoren gelieferten Signale müssen in Daten umgewandelt und diese mit geeigneten Nachbearbeitungsverfahren analysiert und klassifiziert werden. Dabei werden die unterschiedlichsten statistischen Auswertemethoden (Software) verwendet (z.B. Hauptkomponentenanalyse, Diskriminanzanalyse, Fuzzylogik, künstliche neuronale Netzwerke) (Loutfi, 2015).

Hauptanwendungsgebiete für elektronische Nasen sind Fisch-, Fleisch-, Milchprodukte, Wein, Kaffee, Tee und Spirituosen. Seit 1993 finden sich in der Literatur 5.000 Publikationen, die sich mit dem Einsatz von elektronischen Nasen bei Lebensmitteln beschäftigen. Das allein bestätigt, die große Bedeutung dieser Analysetechnik (Loutfi, 2015).

Es ist zu erwarten, dass mit der weiteren Entwicklung der Sensortechnik (stabile, driftfreie Sensoren) und der Auswertetechnik eine Nutzung sensorischer Nasen im breiteren Umfang als derzeit und nicht nur im Labor sondern in der Produktionskontrolle erfolgen wird.

### 3.2.2. Elektronische Zunge

Etwas anders als bei elektronische Nasen ist das Prinzip bei der elektronischen Zunge. Menschen erfassen zwar den Geschmack eines Lebensmittels über die unterschiedlichen Geschmacksrezeptoren für die Grundgeschmacksrichtungen. Die Rezeptoren lösen Reize aus, die über Nerven an das Gehirn zur Auswertung geleitet werden. Die Untersuchung der Nervenimpulse zeigt aber, dass an den sie einsammelnden Nervenfasern immer eine Pluralität der auslösenden chemischen Reize wirkt (Ahlers & Keil, 2014). Das bedeutet auch, dass unser Gehirn den Geschmack eines Lebensmittels als Muster erfasst und mit angelernten Erfahrungen vergleicht.

Diesen Vorgang versucht man nun bei der elektronischen Zunge nachzuahmen. Es wird nur registriert, wie stark die einzelnen Sensoren ansprechen, statt aufwändig einzelne Geschmacksrichtungen exakt zu verorten. Die Signale werden mit Mustererkennungsverfahren gekoppelt. Für jede Probe wird also eine Art „Fingerabdruck“ gewonnen. Ein Vergleich mit gespeicherten Referenzmustern ermöglicht eine Zuordnung oder stellt Abweichungen vom Referenzmuster fest, wie sie durch Verfälschungen, Alterung, Verderb oder Prozessfehler auftreten (Anonym, 2004).

Die Messsensoren in elektronischen Zungen erfassen elektrochemische Signale beispielsweise durch Messung von Nernst-Spannungen, Potentiometrie oder zyklischer Voltametrie (Anonym, 2004; Ahlers & Keil, 2015).

Praktische Anwendungen einer elektronischen Zunge sind derzeit noch kaum gegeben. Ein häufig angeführtes Beispiel ist die Identifizierung echter thailändischer Tom-Ka-Gai-Suppe, die nicht aus einer vorverarbeiteten Paste sondern aus frischen Zutaten hergestellt wird. Diese kommerziell erhältliche Maschine stellt mit zehn Sensoren ein elektro-chemisches Profil einer Suppe her und vergleicht diesen Fingerprint mit dem gespeicherten Profil einer echten Suppe (Anthony, 2014).

### 3.3. Molekulares Prägen (*molecular imprinting*)

Beim molekularen Prägen werden die später zu identifizierenden Zielmoleküle als Schablone (*template*) verwendet, und um sie herum eine Polymermatrix synthetisiert. Anschließend werden die Zielmoleküle aus der Polymermatrix entfernt bzw. heraus gelöst. Es bleiben Hohlräume zurück, die eine exakte Negativform des Zielmoleküls in räumlicher Hinsicht aber auch bezüglich der Ladungsverteilung darstellen (Abb. 6.3.1). Es entsteht also eine Schlüssel/Schloss-System, ähnlich der Enzym/Substrat- oder der Antikörper/Antigen-Wechselwirkung (Anonym, 2006).

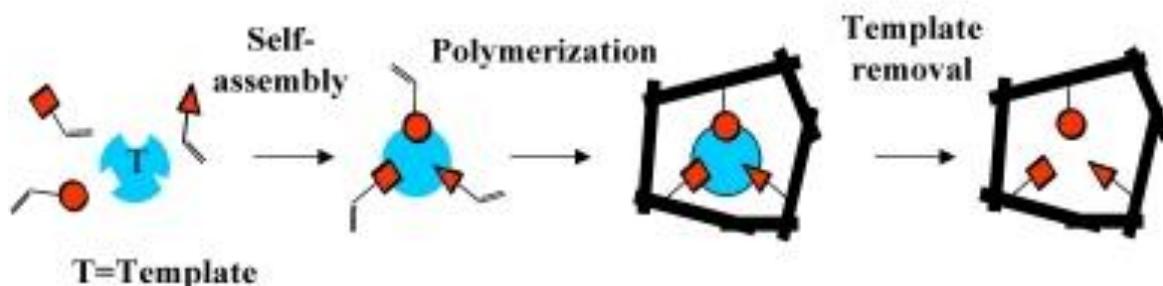


Abb. 6.3.1: Schema der molekularen Imprägnierung (Anonym, 2007)

Die erzeugten imprägnierten Polymere (*MIP – molecular imprinted polymers*) können nun für eine ganz selektive Extraktion von Molekülen bzw. Stoffen aus diversen Matrices verwendet werden (siehe dazu Teil 4, Kap. 1.2.2.).

MIPs lassen sich zur sehr empfindlichen Detektion von Molekülen auch in Lebensmitteln einsetzen. Für diesen Zweck müssen die Polymere mit einem Sensor verbunden werden, der ein verwertbares Signal liefert, wenn die Hohlstellen durch die Zielmoleküle besetzt werden (Lieberzeit, 2011).

Mit dem weiteren Fortschritt dieser Technik, die in den Bereich der Nano(bio)technologie hinein fällt, in Kombination mit der Elektronik sind einige Dinge vorstellbar, die derzeit noch sehr futuristisch klingen. Billige Wegwerfsensoren könnten Produzenten, Verkäufern und Käufern von Lebensmitteln ein rasches und sehr selektives Screening verschiedener Stoffe ermöglichen (Lieberzeit, 2011), wie beispielsweise der Nachweis von Pestiziden, Schwermetallen oder Toxinen. Empfindliche Personen könnten damit Allergene in Lebensmitteln identifizieren.

### 3.4. Molekulare Typisierung (*molecular typing, microbial fingerprinting*)

Unter molekularer Typisierung werden Methoden verstanden, mit denen Bakterien und Viren aufgrund der Zusammensetzung ihrer Bio-Moleküle (z.B. Proteine, Fettsäuren, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren) stammspezifisch charakterisiert und identifiziert werden können. Damit lässt sich verifizieren, ob zwei oder mehr Stämme von einem einzigen Elternteil-Organismus stammen. Solche Untersuchungen werden in der Regel durchgeführt, um abzuklären, ob zwei Isolate (Proben) aus unterschiedlichen Quellen den gleichen Stamm enthalten oder nicht enthalten.

Besonders hilfreich sind Typisierungs-Studien auf dem Gebiet der Epidemiologie, wenn beispielsweise ein plötzlicher Anstieg in der Häufigkeit eines bestimmten Pathogens in einem geografisch begrenzten Bereich bemerkt wird, d.h. der Ausbruch einer Erkrankung. Bei lebensmittelbasierten Infektionskrankheiten kann eine Stammtypisierung bei der Ermittlung der Infektionsquellen sehr hilfreich sein und die weitere Ausbreitung der Infektion begrenzen.

Wie wichtig diese Methoden sind wurde im Jahr 2011 beim Ausbruch von Shiga-Toxin produzierenden *Escherichia coli*-Stämmen (STEC) in Deutschland und in Frankreich eindrucksvoll bewiesen. Relativ rasch wurde erkannt, dass beide Ausbrüche in Deutschland und in Frankreich auf denselben Stamm zurückzuführen sind und als Ausgangsquelle wurden Sprossen identifiziert (EFSA, 2014). Immerhin waren bei diesen beiden Ausbrüchen insgesamt 4.000 Fälle und über 50 Todes-

fälle (!) zu verzeichnen (EFSA, 2015). Diese hohe Zahl an Todesfällen ist ein deutlicher Hinweis auf die Bedeutung des biologischen Risikos in unserer Ernährung, das nach dem Ernährungsfehlerhalten weit vor allen anderen Risiken liegt. In den Augen der Konsumentinnen und Konsumenten wird diese Risikokategorie aber leider unterschätzt. Im Zeitalter der Globalisierung und der globalisierten Warenströme können auf kontaminierten Rohstoffen und Lebensmitteln basierende Ausbrüche sehr rasch enorme Verbreitung erlangen. Die EFSA widmet deshalb den Methoden der molekularen Typisierung große Aufmerksamkeit (EFSA 2013 & 2014 b).

Es gibt eine breite Palette von phänotypischen und genotypischen Typisierungsverfahren. Erstere basieren auf genetisch determinierten, phänotypischen Eigenschaften (z. B. Antibiotikaresistenz, Antigene). Die weit wichtigeren und exakteren, genotypischen Methoden basieren auf der Analyse des genetischen Materials (DNA und RNA). Diese Verfahren erzeugen eine Sequenz- oder Bandenmuster für jeden mikrobiellen Subtyp, der auch als **molekularer Fingerabdruck** bezeichnet wird.

Genotypische, molekulare Fingerabdrücke können in weiterer Folge zur Taxonomie bei der Interpretation eines Metagenoms verwendet werden (siehe Kap. 3).

## 4. Metagenomik (*agri-food metagenomics*)

Die Weiterführung des genetischen Fingerabdruckes eines einzelnen Mikroorganismus Stammes ist die Bestimmung der gesamten genetischen Information aller Mikroorganismen aus einem Habitat [z.B. Boden, Meerwasser, Trinkwasser, fermentierte Lebensmittel, Darmflora (⇒ Mikrobiom) des Menschen oder von Tieren]. Die Gesamtheit dieser genetischen Informationen wird als **Metagenom** und die dazugehörige Wissenschaft als **Metagenomik** bezeichnet (Gabor et al., 2012).

Zur Ermittlung eines Metagenoms wird das gesamte DNA-Material aus einer Probe isoliert und sequenziert (= Ablesen der Nukleotidfolge von DNA). In einem nächsten Schritt können die DNA-Fragmente aus den Genomen der verschiedenen Organismen einer mikrobiellen Gemeinschaft bestimmten Mikroorganismen (⇒ Taxonomie) oder bestimmten Funktionen (z.B. Enzymfunktionen) zugeordnet werden.

Zur Umsetzung dieser Methodik stehen heute Hochdurchsatz-Sequenzierungsmethoden zur Verfügung. Die Auswertung der Fülle an gewonnenen Informationen ist nur mittels entsprechender Computertechnik und -programme möglich. Metagenomanalysen und -auswertungen zählen heute aber zum Stand der Technik. In Zukunft können sie für Routineanalysen in Untersuchungslabor anwendbar sein. Damit eröffnen sich viele interessante Anwendungsgebiete, wie beispielsweise die Gewinnung von Erbinformationen von nicht kultivierbaren Mikroorganismen und die Nutzung von neuen Enzymen aus diesen Mikroorganismen (siehe dazu Teil 2, Kap. 3.6.1.).

Im Bereich der menschlichen Ernährung und in der Lebensmitteltechnik wird die Metagenomik ebenfalls eine große Bedeutung erlangen. Abweichungen des Metagenoms vom Mikrobiom<sup>4</sup> im Dickdarm oder aus der Mundhöhle von gesunden und kranken Menschen können Hinweise auf unterschiedliche Zusammensetzung liefern und diese im Endeffekt mit verschiedenen Erkrankungen in Beziehung setzen. Erkannte, nachteilige Abweichungen des Mikrobioms wären dann durch probiotische Bakterien korrigierbar (Dutton & Turnbaugh, 2012; Gueimonde & Collado, 2012; Serban, 2011; Zittau J., 2011).

Weiter ist zu erwarten, dass die Metagenomik in die mikrobiologische Routinekontrolle bei der Herstellung von fermentierten Lebensmitteln und bei der mikrobiologischen Qualitätskontrolle von Lebensmitteln ebenfalls Eingang findet. In einem einzigen Test können tausende Mikroorganismen in einer Lebensmittelmatrix identifiziert werden. Durch Zeitreihenmessungen lassen sich Veränderungen durch Umwelt- und Prozessfaktoren ermitteln, steuern und optimieren (Ercolini, 2013; Gomez-Alvarez et al., 2012; Nalbantoglu et al., 2014; Yeung, 2012). Die belgisch/französische Firma Quality Partner bietet solche Metagenom-Analysen für den Agrar- und Lebensmittelbereich bereits kommerziell an (QUALITY PARTNER, 2015)

---

<sup>4</sup> Mikrobiom: *Die Gesamtheit aller nicht-menschlichen DNA am bzw. im menschlichen Körper.*  
Mikrobiota / Mikroflora: *Die Gesamtheit allen nicht-menschlichen Lebens am bzw. im menschlichen Körper.*

## 5. Literatur

Ahlers H. und Keil C. (2014): Die Elektronische Zunge als innovatives Mustererkennungsinstrumentarium. *mpa* 10, 22-25

Anonym (2004): Elektronische Zunge unterscheidet sieben Apfelsäfte. *Scinexx.de Das Wissensmagazin* ([www.scinexx.de/wissen-aktuell-817-2004-05-20](http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-817-2004-05-20), html; Zugriff 15.03.2015)

Anonym (2006): Nanobiotechnologie – Zwerge beherrschen die Umwelt. BioPro GmbH (<http://www.bio-pro.de/magazin/thema/00131/index.html?lang=de&artikelid=/artikel/02739/index.html>; Zugriff 09.03.2015)

Anonym (2007): Molecular imprinting. Institut für Umweltforschung, TU Dortmund (<http://www.infu.tu-dortmund.de/projekte/MIP>; letzte Änderung 25.05.2007)

Anonym (2013): Kohlenstoff-Nanoröhrchen als flexible, kostengünstige Sensoren. Mögliche Anwendungen reichen von Sensoren zur Überwachung der Luftqualität bis hin zur künstlichen Haut. ([www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/kurz/article/31050](http://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/kurz/article/31050); Zugriff 09.03.2015)

Anonym (2014): CSI für Lebensmittel: Qualität und Herkunft einfach prüfen. (<http://www.uibk.ac.at/ipoint/news/2014/csi-fuer-lebensmittel-qualitaet-und-herkunft-einfach-pruefen.html.de>; Zugriff 08.10.2015)

Anonym (2015 a): Fischchips & Computer-Chips. ([www.freshlabel.net/news/frischfisch-mit-computer-chips.html](http://www.freshlabel.net/news/frischfisch-mit-computer-chips.html); Zugriff 09.03.2015)

Anonym (2015 b): Qualitätskontrolle in der Fleischproduktion durch Laser. ([www.freshlabel.net/news/fleischproduktion-und-laser.mtml](http://www.freshlabel.net/news/fleischproduktion-und-laser.mtml); Zugriff 09.03.2015)

Anthony, S. (2014): Thailand, to combat bad Thai food around the world, creates robot e.delicious tasting machine. ([www.extremetech.com/extreme/191047-thailand-to-combat-bad-thai-food-around-the-world-creates-robot-e-delicious-tasting-machine](http://www.extremetech.com/extreme/191047-thailand-to-combat-bad-thai-food-around-the-world-creates-robot-e-delicious-tasting-machine); Zugriff 15.03.2015)

Dutton R.J. and Turnbaugh P.J. (2012): Taking metagenomic view of human nutrition. *Curr. Opin. Nutr. Metab. Care* 15, 448-454

Ercolini D. (2013): High-throughput sequencing and metagenomics: moving forward in the culture-independent analysis of food microbial ecology. *Applied and environmental Microbiology* 79, 3148-3155

EFSA (2013): Scientific Opinion on the evaluation of molecular typing methods for major food-borne microbiological hazards and their use for attribution modelling, outbreak investigation and scanning surveillance: Part 1 (evaluation of methods and applications). *EFSA Journal* 11, 3502-3586

EFSA (2014 a): Ausbrüche von Shiga-Toxin produzierenden *E.coli*. (<http://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/ecolioutbreak2011.htm>; Aktualisierung 30.07.2014)

EFSA (2014 b): Scientific Opinion on the evaluation of molecular typing methods for major food-borne microbiological hazards and their use for attribution modelling, outbreak investigation and scanning surveillance: Part 2 (surveillance and data management activities). *EFSA Journal* 12, 3784-3830

- EFSA (2015): Molecular typing ([www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/moleculartyping.htm](http://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/moleculartyping.htm); Aktualisierung 17.02.2015)
- Gabor E.M., Lorenz G.P., Maurer K.H., Niehaus F. und Eck J. (2012): Metagenomics für die weiße Biotechnologie. ([http://www.brain-biotech.de/content/blickwinkel/1112q1\\_diversity/1112q1\\_Diversitaet\\_Gabor.pdf](http://www.brain-biotech.de/content/blickwinkel/1112q1_diversity/1112q1_Diversitaet_Gabor.pdf))
- Gomez-Alvarez V., Revetta R.P. and Santo Domingo J.W. (2012): Metgenomic analyses of drinking water receiving different disinfection treatments. *App. Environm. Microbiol.* 78, 6095-6102
- Gueimonde M. and Collado M.C. (2012): Metegenomics and probiotics. *Clin. Microbiol Infect.* 18, 32-44
- Holm F. (2003): Sensoren für die Lebensmittelqualität. Food Group Denmark, Fair Flow – Kleine und mittlere Unternehmen, N°4
- INSORT (2015): Insort Food Analyzer. Insort GmbH, Feldbach, Austria, Firmenunterlagen
- IQ-freshlabel (2014): Intelligent label for better food. ([www.freshlabel.eu/6.0.html](http://www.freshlabel.eu/6.0.html), Zugriff 09.03.2015)
- Kuhlmeier D., Sandetskaya N and Allelein S. (2012): Application of nanotechnology in minitaurized systems and its use in medical food analysis. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture* 4, 187-199
- Lieberzeit P. (2011): Multiple Sensoren. Forschungsnewsletter der Universität Wien, Nr. 63, Dez. 2011 ([http://forschungsnewsletter.univie.ac.at/index.php?id=116824&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=116823&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=37482&cHash=220c31a09bfa5334a7a9f81c6b1681a0](http://forschungsnewsletter.univie.ac.at/index.php?id=116824&tx_ttnews%5BbackPid%5D=116823&tx_ttnews%5Btt_news%5D=37482&cHash=220c31a09bfa5334a7a9f81c6b1681a0))
- Loutfi A., Coradeschi S., Mani G.K., Shankar P. and Ryappan J.B.B. (2015): Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering* 144, 103-111
- Nalbantoglu U., Cakar A., Dogan H., Abaci N., Ustek D., Sayood K and Can H. (2014): Metagenomic analysis of the microbial community in kefir grains. *Food Microbiology* 41, 42-51
- Pichler, T. (2013): Verpackung soll Lebensmittel-Frische überwachen. Kunststoffelektronik stellt kostengünstige Lösung in Aussicht. ([www.presetext.com/print/201330228030](http://www.presetext.com/print/201330228030), Zugriff 09.03.2015)
- Pu Y.-Y. Feng Y.-Z. and Sun D.W. (2015): Recent progress of hyperspectral imaging on quality and safety inspection of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14, 176-188
- QUALITY PARTNER (2015): Metagenomics – A new tool for agri-food industries. (<http://www.agrifood-metagenomics.com/>; Zugriff 17.09.2014)
- Serban D.E. (2011): The gut microbiota in the metagenomics era: Sometimes a friend, sometimes a foe. *Roum Arch. Microbiol. Immunol.* 70, 134-140
- Trupp S. (2011): Keine Chance für Gammelfleisch. Pressinformation der Fraunhofer Gesellschaft (<http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2011/april/keine-chance-fuer-gammelfleisch.html>; Zugriff 09.03.2011)

Yeung M. (2012): ADSA Foundation Scholar Award: Trends in culture-independent methods for assessing dairy food quality and safety: Emerging metagenomic tools. *Journal of Dairy Science* 95, 6831-6842

Zittlau J. (2011): Wie Darmbakterien unser Leben bestimmen. *Die Welt* 30.05.2011  
([www.welt.de/13402307](http://www.welt.de/13402307))