

# FOOD & HYGIENE PRAXIS

## Gefahren erkennen – Risiken vermeiden



Dr. Andreas Müller

Liebe Leserin, lieber Leser,

wer sich im Krisenfall an den Themen Rückverfolgbarkeit und Authentizität versucht hat, kann ein Lied singen zu Mehrdeutigkeiten im upstream, unzähligen Medienbrüchen, ständig notwendigen Plausibilitätsbetrachtungen und immer verbleibenden Unsicherheiten. Erschwingliche technische Unterstützung ist nun in Sicht in Form veredelter RFID-Techniken, mit denen nicht nur Konsumenten einfach und ergonomisch die Echtheit von Produkten überprüfen können. Auch in sich geschlossene und konsistente Tracking-Systeme könnten dargestellt werden, um Informationen entlang von Liefer- und Wertschöpfungsketten schnell und manipulationssicher zugänglich zu machen. Unser Artikel erläutert die Technik und die Einsatzmöglichkeiten.

Die wiederentdeckten Bakteriophagen scheinen eine sehr vielversprechende Alternative zu Antibiotika zu sein nicht nur beim Menschen, sondern auch bei Nutztieren. Gerade in der Diskussion um resistente Bakterienstämme und Reserveantibiotika eröffnen Bakteriophagen neue Möglichkeiten, die wir im Artikel zum Thema näher untersuchen.

Das Thema Food Fraud darf nicht fehlen. Welche Lücken in vermeintlich robusten Systemen bestehen und wie man sie schließt, beschreibt der Artikel zum Thema. Unmittelbar hiermit zusammenhängend ergeben sich Strategien, mit denen man begrenzte Budgets für Laboranalysen noch effizienter nutzen kann, um Risiken noch besser abzudecken und zu einem unangenehm beweglichen Ziel für Food-Fraud-Täter zu werden.

In weiteren Artikeln behandeln wir den Sinn und Unsinn von zusätzlichen Vitaminen in Rezepturen und die Risiken roher Lebensmittel.

Ich wünsche Ihnen mit dieser Ausgabe eine kurzweilige Zeit

Andreas Müller

### Inhalt

- 2 **RFID-Technik** – Authentizität und Rückverfolgbarkeit technisch flankieren
- 5 **Bakteriophagen** – Einsatzpotenzial in Medizin, Land- und Lebensmittelwirtschaft
- 8 **Lückenhafte Food-Fraud-Abwehr** – Audit-Score über 99 % und trotzdem Opfer geworden?
- 12 **Risikogestaffelte, dynamische Prüfumfänge** – Budget für Laboranalysen noch besser nutzen
- 15 **Nährstoffzusätze in Lebensmitteln** – Über eine sinnvolle und weniger sinnvolle Anreicherung
- 18 **Rohe Lebensmittel** – Gesundheitliche Risiken sollten nicht unterschätzt werden

## RFID-Technik

### Authentizität und Rückverfolgbarkeit technisch flankieren

Von Thomas L. Rödding

**Kurzgefasst:** Authentizität von Produkten und lückenlose Rückverfolgbarkeit über möglichst alle Stufen der Wertschöpfungsketten sind untrennbar miteinander verbunden. Authentizität als ein mit dem Produkt assoziiertes Attribut ist eine Schlussfolgerung aus lückenlos funktionierender Rückverfolgbarkeit, die wiederum abstrakt auf übergreifende Prozesssicherheit abstellt. Eine die Rückverfolgbarkeit belegende Dokumentation ist oft von zahlreichen Medienbrüchen begleitet, deren Systematik an den zahlreichen Übergabepunkten von Zulieferern an Verarbeiter und Veredler wechseln kann. Papierbasierte Primär-Dokumentationen werden uneinheitlich in redundante elektronische Aufzeichnungssysteme überführt. Dieser manuelle Prozess ist fehleranfällig und nicht revisionsicher. Im Havariefall werden zusätzlich produktionsbegleitende Dokumentationen benötigt wie beispielsweise CCP-Kontrollprotokolle oder Ergebnisse mitlaufender Laboranalysen. Die einschlägigen Standards verlangen von zertifizierten Unternehmen, Dokumentationen innerhalb weniger Stunden lückenlos vorweisen zu können, was aber schon wenige Wertschöpfungsstufen „stromaufwärts“ in verzweigten Lieferketten eher die Ausnahme darstellt. Für die Beantwortung der zahlreichen Herausforderungen existieren viele technische Insellösungen. Eine übergreifend einsetzbare Technik ist die NFC/RFID-Technologie, die für eine schrittweise Implementierung geeignet ist. Bestehende funktionierende Systeme werden nicht zwangsläufig infrage gestellt. Sowohl für das Endprodukt als individuelles Zertifikat die Authentizität nachweisend als auch prozessübergreifend Informationen integrierend und zur digitalen Weiterverarbeitung zur Verfügung stellend ist die NFC-Technologie robust und einfach, dabei aber auch nahezu beliebig skalierbar mit Vorteilen sowohl für besorgte Endverbraucher als auch für die Teilnehmer der Wertschöpfungsketten selbst. Der Artikel erläutert die in der Routine einsetzbaren Technologien, gibt Anwendungsbeispiele und zeigt mögliche zukünftige Entwicklungen auf.

#### Technische Umsetzung

Die Nahfeldkommunikation NFC ist ein auf der Radiofrequenz-Identifikationstechnologie RFID basierender Übertragungsstandard zum kontaktlosen Austausch von Informationen mittels induktionsgekoppelter Spulen, von denen in der einfachsten Realisierung nur eine mit elektrischer Energie versorgt werden muss. Das System besteht aus einem Funketikett (Transponder, Tag) und einem Lese-Schreibgerät. Die Kopplung geschieht durch elektromagnetische Wechselfelder, die vom Schreib-Lesegerät erzeugt werden und die bei Annäherung den Transponder induktiv mit Energie versorgen. Ein Transponder selbst besteht (mindestens) aus einer Antenne, einem Transceiver zum Empfangen und Senden sowie einem mindestens einmal beschreibbaren Speicher, in dem z. B. eine eindeutige Kennung des Transponders abgespeichert wird. Die Komponenten werden je nach Einsatzzweck

geometrisch angeordnet und in einen Verbund mit einem Foliensystem zum manipulationssicheren Aufkleben oder einer Vergussmasse in Kapselform gebracht. Einsatzfähige Passiv-Transponder sind dann kaum größer als ein Reiskorn oder – bei flächiger Bauweise – als eine Briefmarke, jeweils einschließlich der notwendigen Antenne. In fortgeschrittenen Fällen können noch leistungsfähigere Komponenten eingesetzt werden, sodass aus dem Transponder ein Transmitter wird. Dieser kann gleichermaßen per NFC mit einem Gerät kommunizieren (z. B. Smartphone oder Schreib-Lesegerät (Bankkarte, Reisepass)).

Für die Energie- und Informationsübertragung sind verschiedene Frequenzbänder geeignet und üblich. Langwellen (< 500 kHz) besitzen den Vorteil, einige Zentimeter organische Materie durchdringen zu können, was z. B. bei der Kennzeichnung lebender Tiere ge-

wünscht wird. Einhergehend mit einer niedrigen Trägerfrequenz ist allerdings eine niedrige Datenrate, d. h. dieser Frequenzbereich eignet sich nicht für das schnelle Auslesen vieler Transponder oder das Übertragen größerer Informationsmengen. Praktisch wird die Frequenz 125–132 kHz (engl. „Low Frequency – LF“) genutzt.

Kurzwellen (< 30 MHz) sind ein Kompromiss und bieten bei Reichweiten um 10 cm vergleichsweise schnelle Informationsübertragung und günstige Preise für Transponder und Lesegeräte. In diesem Frequenzbereich arbeiten beispielsweise „Smart Tags“, die ähnlich wie Barcodes verwendet werden. Besonders relevant beruht weltweit die Nahfeldkommunikation auf exakt 13,56 MHz (engl. „High Frequency – HF“).

Noch kürzer als Ultrakurzwellen (30 MHz bis 300 MHz) kommt der Bereich 867–950 MHz (engl. „Ultra High Frequency – UHF“) zum Einsatz, wenn viele Transponder in kurzer Zeit ausgelesen werden müssen und eine große Reichweite erforderlich ist. Dies findet z. B. Anwendung in Lagerbereichen, in denen viele unterschiedliche Produkte mit hoher Transaktionsdichte kommissioniert und bei Passieren von Abfragetoren (dem Lesegerät) automatisch gebucht werden. Modern automatische Kassen („self check out“) verwenden ebenso die Warenkennzeichnung mit solchen Transpondern.

Für einige Anwendungen werden auch Frequenzbereiche im GHz-Bereich im Zusammenspiel mit semi-aktiven Transpondern mit eigener Stromversorgung verwendet, z. B. in der Seenotrettung.

Bei der Anwendungsspezifikation wird man Attribute wie Trägerfrequenz, Übertragungsrate, Lebensdauer, Einzel- und Systemkosten, Speicherkapazität und Lesereichweite bewerten. NFC-fähige Mobiltelefone sind hierbei in der Breite verfügbare Kurzwellen-Lesegeräte z. B. für Smart-Tags.

**NFC-fähige Mobiltelefone sind breitenverfügbare Kurzwellen-Lesegeräte z. B. für Smart-Tags.**

Die Vorteile der Transponder-Technik gegenüber optischen Bar- oder QR-Codes liegen auf der Hand:

- ▶ Speicher können wiederbeschreibbar und für lange Nutzungsdauern ausgelegt werden (10–100 Jahre)
- ▶ Scannen ist unter nahezu allen Umfeldbedingungen möglich, keine Anforderungen an Oberflächenreinheit, Beleuchtung, Oberflächengeometrie, Kontrast, ... wie bei optischen Verfahren notwendig (z. B. keine Sichtlinie nötig)
- ▶ mit eindeutiger Kennung nicht kopierbar
- ▶ Flächenbedarf (nahezu) unabhängig von Speicherkapazität
- ▶ robust gegen Wasser, Reinigungsmittel, oberflächliche Kratzer, ...
- ▶ je nach Variante Information mit dem Smartphone auszulesen und zu verändern
- ▶ modernste Transmitter-Transponder bieten kryptografische Rechenfähigkeiten und schützen Inhalte vor unberechtigtem Zugriff und verhindern jede Manipulation und Plagiate.

Natürlich wird die eigentliche Technologie in der Praxis eingebettet werden in eine IT-Architektur mit Verschlüsselungssystemen, Datenintegritätskontrollen, Antikollisionstechniken, Herstellung eindeutiger Identitäten, Offline-Verwendung, Synchronisation mit Cloud-Systemen über das Internet usw.

### Produktbezogene Anwendung: Authentizitätsbestätigung

Systeme mit breiter Akzeptanz gehen gern von den Konsumenten aus und beantworten ein bestimmtes Wissens- und Transparenzbedürfnis aufwandsarm und ohne Umwege. Hochaktuell sind beispielsweise Fragen nach der Authentizität bestimmter Premium-Lebensmittel, für die einerseits ein signifikanter Preis zu zahlen ist, die andererseits aber auch immer wieder gefälscht werden (→ Food Fraud). Zu diesen Lebensmitteln gehören beispielsweise:

- ▶ lang gelagerte Single Malt Whiskys mit Cask- und Flaschennummerierung und andere Spirituosen mit Sammlerwert
- ▶ limitiert verfügbare Prädikatsweine mit Flaschennummerierung

▶ Olivenöl nativ extra aus bestimmten Anbaugebieten bzw. von bestimmten Familienbetrieben

▶ Aceto Balsamico Tradizionale di Reggio Emilia mit goldenem Etikett

▶ Safran, Vanille, Ginseng

▶ bestimmte Sortenhonige

▶ Kopi Luwak, „Herkunfts-“Kaffee, „Herkunfts-“Kakao

▶ ...

Bei anderen Produktgruppen ist ein unscharfes Sicherheitsbedürfnis die Motivation für eine zuverlässige Authentizitätsbestätigung:

▶ Säuglingsnahrung

▶ diätische Lebensmittel (z. B. geeignet für Allergiker)

▶ frei verkäufliche Arznei- und Nahrungsergänzungsmittel

▶ ...

Eine zunehmende Anonymisierung von Geschäftsbeziehungen sowie die Verlagerung der Abwicklung von Transaktionen auf Internet-Plattformen verstärken zusätzlich den Bedarf an Maßnahmen der Sicherung und Bestätigung von Authentizität. Zusicherungen in Produktbewerbungen und generische Bewertungssysteme reichen hier nicht aus.

### Das Überprüfungserlebnis für Konsumenten und der technische Hintergrund

Ein kleiner Aufkleber auf der Verpackungseinheit mit Kontakt zum Lebensmittel (z. B. Flasche mit Verschluss) gibt Aufschluss über das notwendige Prüfverfahren: „(1) NFC am Mobiltelefon einschalten, (2) Mobiltelefon an den Verschluss/diesen Aufkleber halten, (3) Verbindung mit der Datenbank des Produzenten *Soundso* über das Internet zulassen“.

Bei Befolgen dieser Anleitung übergibt der im Verschluss integrierte Transponder mehrere Informationen an das Smartphone der prüfenden Person:

(a) die eindeutige Kennung des Transponders (40-stellige Dezimalzahl, generiert ohne zentrale Vergabeinstanz, Wahrscheinlichkeit der Doppelung/Kollision  $< 10^{-18}$ ),

(b) die qualitative Information zur mechanischen Integrität des Transpondermoduls als Indikator, ob am Verschluss manipuliert wurde z. B. zwecks Wiederverwendung von Originalgebinden mit minderwertigem Inhalt sowie

(c) ein Trigger, eine Instant-App bzw. ein App-Clip zu starten (Applikationen, die ohne Installation funktionieren und nach Beenden keine Rückstände hinterlassen; verfügbar für Android, Apple-iOS, Harmony-OS);

(d) ggf. können mit Nutzerzustimmung auch Geo-Koordinaten des anfragenden Smartphones ausgewertet werden.

Über die Anwendung wird eine sichere Verbindung zum Hersteller hergestellt. Es erfolgt der Abgleich der Kennung mit den in der Authentizitätsdatenbank registrierten Einheiten und die Auswertung der Integritätsinformationen für den Verschluss. Es liegt in der Hand des Herstellers, die Nutzung aussagekräftig und ergonomisch zu gestalten und die Authentizitätsbewertung als Einstieg zu verwenden für weitere z. B. werbende Inhalte.

---

**Bei geeigneter Präparation von produktberührenden Behältern kann die Authentizität mittels NFC-fähigem Smartphone mit Internetzugang überprüft werden, ohne eine App installieren zu müssen.**

---

Die Implementierung des Sicherheits-Features erfolgt hier produktbezogen und erfolgt in der letzten Stufe der Veredlung. Alle vorangehenden Elemente der Wertschöpfungskette sind in diesem Anwendungsfall vom Produzenten prozessbezogen abgesichert. Der Aufwand, dieses Verfahren zu täuschen, erfordert eine Duplizierung der gesamten Infrastruktur zur Anbringung und Administration der Transponder, was allein Abschreckungspotenzial haben dürfte. Die Aufmerksamkeit der reputationsbewussten Originalhersteller dürfte ebenfalls hoch sein, weil die Anfragen auf die Referenzdatenbank natürlich auch Rückschlüsse auf Marktaktivitäten je Region und damit Plausibilitätsbetrachtungen zulassen.



### Lieferkettenbezogene Anwendung: Rückverfolgbarkeit und Begleitdokumentation

Eine laterale Anwendung entlang der Lieferkette erfordert eine Kategorisierung von Rollen im Prozess, welche wiederum die technische Ausführung bestimmen. Die Kategorien sind:

- 1) **Akteure:** Menschen, Institutionen, technische Einrichtungen, die Informationen abfragen, verändern, bewerten und Entscheidungen treffen. Akteure haben eine eindeutige Kennung und ein Schreib-Lesegerät. Bei Menschen wird die Kennung bestehen aus NFC-fähigen Personaldokumenten, Fingerabdrücken, biometrischen Daten. Das Lesegerät ist ein Smartphone mit einer entsprechenden Applikation, welche Lesen und Schreiben auch offline ermöglicht und eine Synchronisation von Informationen vornimmt, sobald Verbindung mit dem Internet hergestellt wird.
- 2) **Mobile Elemente:** bewegliche Einrichtungen und Ausrüstung, die mit Transport innerbetrieblich oder auch zwischen benachbarten „Punkten“ der Lieferkette assoziiert sind: LKW, Paletten, Container, Pendel-Behälter, ggf. sogar die transportierten Materialien selber. Mobile Elemente erhalten einen Transponder mit eindeutiger Kennung. Eine Nutzungszuordnung wird zentral abgebildet.
- 3) **Fixe Elemente:** alle festen Stationen und Instanzen in der Wertschöpfung sowohl „extern“ (z. B. Wareneingang, Warenausgang) als auch intern (z. B. Lager, Kontrollpunkte bei Produktionsbeginn, Produktionsende, kritische Zwischenstationen wie Beginn und Ende eines Sterilisierungsprozesses, Abschluss bestimmter Zwischenfertigungsstufen). Das Passieren von mobilen Elementen erfordert nicht unbedingt eine Interaktion mit Akteuren, sondern kann aus technischer Sicht in vielen Fällen automatisiert werden.

Mit diesen drei Rollen innerhalb der Liefer- und Wertschöpfungskette lassen sich skalierbar und in nahezu jeder Detailtiefe Informationen zur Rückverfolgbarkeit aufnehmen und mit Begleitdokumentationen flankieren. Je nach

Situation können Informationen dem (Zwischen-)Produkt bei entsprechender Auslegung auf dem Transponderspeicher mitgegeben oder zentral gespeichert und verarbeitet werden. Die drei beschriebenen Kategorien sind hinreichend, nahezu alle in der Praxis vorkommenden Dokumentationsaufgaben über geeignete Kombinationen und Abläufe abzubilden.

Die Nutzung der RFID-Technik ist hierbei denkbar einfach. Die Anforderungen an die technische Infrastruktur sind gering, was für die Urproduktion in strukturschwachen Regionen wichtig ist. Bei allen nicht automatisierbaren Instanzen wird das Smartphone verwendet, um Ort- und Zeitstempel zu setzen und mit weiteren Informationen anzureichern (Identität des Akteurs, Geokoordinaten, Gewichte, Anzahl Kolli, Nummernschilder von Transportfahrzeugen, Fotos von Dokumenten etc.). Offline-Arbeiten ist üblich, die Synchronisation und Verketzung der Informationen erfolgen, sobald eine Verbindung mit dem Internet besteht.

Im weiteren Verlauf der Wertschöpfung werden zusätzlich zu den Orts- und Zeitstempeln dann zunehmend komplexere Informationen der Dokumentationskette zugeführt: CCP Protokolle (CCP = critical control point, z. B. Siebe, einwandfreie Funktion von Metalldetektoren, ...), Ergebnisse von Produktuntersuchungen, Scans von Frachtpapieren usw.

Ein derartiges Rückverfolgungssystem wird sicher in vielen kleinen Schritten aufgebaut. Aber die Technologie erlaubt es, zum einen sowohl die Zahl der „Stützstellen“ entlang der Lieferkette zu skalieren, d. h. die Zahl eingesetzter Transponder und damit die Kontrolldichte graduell zu erhöhen. Die Zuordnung der Transponder zu den Prozessschritten und den beteiligten Rollen erfolgt zentral. Zum anderen kann auch die zeitliche Kontrolldichte skaliert werden. Ob und wo dies tagesgenau, schichtgenau oder noch enger erfolgt, ist Entscheidung der Betreiber. Teilnehmer können diese Technik auch nutzen, um interne Prozesse abzubilden, zu messen und KPI-Optimierung zu betreiben (z. B. Wartezeiten minimieren, Trackingsysteme für Logistikprozesse anbieten).

Die Bedienung erfolgt übergreifend über das Internet, womit prinzipiell eine glo-

bale Verfügbarkeit besteht. Ob nun die Daten in zentralen oder verteilten Strukturen gespeichert und verarbeitet werden, ist für die praktische Nutzung nicht entscheidend. Akteure haben einfache Möglichkeiten, Orts- und Zeitstempel zu setzen und Dokumentationen hinzuzufügen. Fixe Elemente erlauben auch die automatische Beschickung mit Informationen. Dies sind gute Grundvoraussetzungen für den Einsatz moderner Blockchain-Technologien.

### Unlösbare Herausforderungen

Nur in Ausnahmefällen wird es bei der Rückverfolgung „stromaufwärts“ ausschließlich 1:1 Beziehungen zwischen einem Produkt (auch Zwischenprodukt) und seiner Vorstufe geben. Wenn an Integrationspunkten z. B. Früchte aus einer kleinteiligen Urproduktion konsolidiert werden, kann möglicherweise bei einer Rückverfolgbarkeitsübung lediglich das Kollektiv von Bauern ermittelt werden, welches an einem betreffenden Tag Rohmaterial geliefert hat. Welcher Kleinstbauer exakt die Pflirsiche für eine (einzelne) reklamierte Konserve geliefert hat, kann nicht mehr aufgeklärt werden. Festzuhalten bleibt jedoch, dass Skalierbarkeit und Automatisierbarkeit bei nur geringem zusätzlichem Zeit- und Kostenaufwand eine erhebliche Genauigkeitssteigerung ermöglichen, wenn beispielsweise anstelle des LKW für den Transport zwischen Plantage und Konsolidierungspunkt zusätzlich auch jede der eingesetzten Pendelboxen einen Transponder erhält und die Kleinstbauern bei Befüllung diese sekundenschnell vor dem Verladen mit dem Mobiltelefon registrieren.

### Ausblick

Als „digitale Wildmarke“ ist die hier vorgestellte Technologie bereits seit 2017 im Sub-Markt „Jagd“ in der breiten Anwendung, um vom erlegten Tier bis hin zum Verkaufspunkt nach der Zerlegung alle relevanten Informationen einschließlich begleitender behördlicher Hygieneuntersuchungen lückenlos und mit einfachem Smartphone-Zugriff verfügbar zu haben. Zwar sind die zugehörigen Lieferketten nur wenig verzweigt. Aber mit Spitzenauslastungen von bis zu zwei Millionen Datenbankzugriffen pro Tag sind sowohl Reifegrad und Robustheit als

auch die Akzeptanz unter den Nutzern eindrucksvoll belegbar. Die digitale Wildmarke dient als Blueprint für eine neue Generation integrierter Rückverfolgbarkeitslösungen in der Lebensmittelindustrie. Das Konzept zuverlässiger fälschungssicherer Identitäten, per Tap vom Smartphone präzise, glaubwürdige, multimediale Daten zu erfassen und die Idee einer intelligenten Verbindung von Transponder-Computer, Smartphone-Computer und Cloud-Computing schaffen vollkommen neue Perspektiven in der Darstel-

lung und Absicherung der Rückverfolgbarkeit auch in hochkomplexen internationalen Lieferketten.

**Thomas L. Rödding**

*Experte & Vice Chair „Digital Product Passport“ in Gremien von CEN-CENELEC & DIN-DKE; Unternehmer (Narravero.com), Schwerpunkt Lieferkettenrückverfolgbarkeit & Produkttransparenz*  
[thomas.roedding@narravero.com](mailto:thomas.roedding@narravero.com)



**Bakteriophagen**

**Einsatzpotenzial in Medizin, Land- und Lebensmittelwirtschaft**

*Von Prof. Dr. Walther Heesch*

**Kurzgefasst:** Bakteriophagen (oder kurz Phagen) sind Viren, die bestimmte Bakterien gezielt angreifen und zerstören können. Sie wurden bereits vor über 100 Jahren als therapeutische Option zur Bekämpfung bakterieller Infektionen erforscht und angewendet. In einigen Ländern der ehemaligen Sowjetunion oder in Polen werden Phagen seitdem als zugelassene Medikamente oder für personalisierte bzw. experimentelle Behandlungen chronischer und antibiotikaresistenter Infektionen eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden Phagen in den westlichen Industrieländern ab den 1940er Jahren nach dem Verfügbarwerden von Antibiotika lange Zeit kaum noch genutzt. Infolge der weltweit wachsenden Problematik von Antibiotikaresistenzen werden Phagen etwa seit Beginn der 2000er Jahre jedoch wieder als ein möglicher Lösungsansatz diskutiert. Auch für eine Nutzung in Land- und Lebensmittelwirtschaft werden Bakteriophagen zunehmend erforscht und mögliche Anwendungsbereiche in Europa und weltweit erörtert. Einige kommerzielle Präparate sind verfügbar, jedoch überwiegend außerhalb der EU.

**Erforschung und erste Anwendungen von Bakteriophagen**

Obwohl die Natur der Phagen – Viren, die Bakterien infizieren – bis Anfang der 1940er Jahre unklar blieb, wurden sie aufgrund der bakterienzerstörenden Eigenschaften bereits in den 1920er und 1930er Jahren in vielen Ländern zur Bekämpfung bakterieller Infektionen bzw. Krankheiten vor allem bei Menschen, aber auch bei Tieren und Pflanzen, untersucht und eingesetzt. Insgesamt waren die Ergebnisse zur Wirksamkeit von Phagen bei den zahlreichen frühen medizinischen Anwendungen jedoch gemischt und wurden in der westlichen Wissenschaftsgemeinschaft angezweifelt bzw. als nicht eindeutig interpretierbar eingestuft. Neben mangelndem Wissen und daraus resultierenden Kontroversen über die Natur und Eigenschaften von Phagen

dürfte vor allem die unzureichende Dokumentation (einschließlich fehlender statistischer Auswertungen) vieler Studien zu diesen Einschätzungen beigetragen haben. Mit den skeptischen Einschätzungen im Westen und dem Aufkommen der Antibiotika in den 1940er und 1950er Jahren wurde die medizinische Nutzung von Phagen weitgehend eingestellt. Nur in einigen Ländern der damaligen Sowjetunion bzw. den Nachfolgestaaten Georgien, Ukraine und Russland wurden Phagenpräparate kontinuierlich als Medikamente kommerziell hergestellt und verwendet.

In den westlichen Ländern stieg das Interesse an der Phagentherapie erst wieder ab den 2000er Jahren angesichts der zunehmenden medizinischen Bedrohung bzw. Problematik durch antibiotikaresistente Keime. Ebenfalls vor diesem Hintergrund, in Verbindung mit

Bestrebungen hin zur Reduktion des Einsatzes chemischer Pestizide und einer nachhaltigeren Nahrungsmittelproduktion insgesamt, dürften auch die erhöhte Aufmerksamkeit und vermehrte Aktivität zum Einsatz von Phagen in der Land- und Lebensmittelwirtschaft zu erklären sein.

**Aufbau und Eigenschaften von Bakteriophagen**

Phagen sind Viren, die ausschließlich Bakterien infizieren („Bakterienfresser“). Dabei sind die Phagen in der Regel auf wenige Bakterien spezialisiert, sodass sie oftmals nur Stämme einer Art (z. B. *Escherichia coli*) befallen und abtöten können. Unterschieden werden zwei Typen von Phagen: virulente und temperente Phagen. Virulente Phagen vervielfältigen sich in der befallenen Bakterienzelle und lösen diese dabei auf. Dabei werden die neugebildeten Phagen freigesetzt. Temperamente Phagen können dagegen ihr Erbgut in das von Bakterien einbauen.

Phagen bestehen aus einem Kopf, der das Erbgut des Phagen beinhaltet und mit einer Eiweißhülle („Kapsid“) umschlossen ist. Die am häufigsten vorkommenden Phagen besitzen neben dem Kapsid noch ein Schwanzsegment, das verschiedene Formen und Größen haben kann und die Anheftung an die Bakterienzelle und die Injektion der Erbsubstanz bewirkt. Im Inneren der Bakterien werden sodann neue Phagen produziert, bis das Bakterium platzt und viele neue Phagen freigibt, die wiederum Bakterien angreifen, bis keine mehr vorhanden sind (siehe Abbildung).

Phagen kommen überall dort vor, wo ihre Wirtsbakterien leben, also weltweit in