

# Lebensmittelqualitätsanalysen mithilfe der Biophotonik

Fritz-Albert Popp

Schon die ersten wissenschaftlichen Arbeiten und Zeitschriften wie «Society of Public Analysts» (1774) oder «The Analyst» (1778) dienten dem Zweck, den Geschäftemachern und Panschern des 18. Jahrhunderts auf die Spur zu kommen, die Lebensmittel mit minderwertigen Beigaben «streckten». Inzwischen sind aus den Detektiven von damals die Lebensmittelingenieure von heute geworden. Die Überwindung des Nahrungsmittelmangels in Europa ist offensichtlich gelungen, vor allem durch intensivierete Landwirtschaft, künstliche Düngung und perfekte Konservierungstechnik. Lebensmittelqualität lässt sich jedoch juristisch und wissenschaftlich auch heute noch nur sehr schwer definieren.

Der Definition einer verbraucherfreundlichen Lebensmittelqualität ist man im Zuge dieser Entwicklung jedenfalls nicht näher gekommen. Im Gegenteil: Die Qualität wurde in viele, oft gegensätzliche Merkmale zerlegt. So gibt es Eignungswerte, die vorwiegend dem Interesse des Produzenten, Verarbeiters oder Händlers dienen, wie Ertragsmenge, Handelsklasse, Transport-, Lager- und Konservierungsfähigkeit, Verarbeitungseignung und Ergiebigkeit. Vorzugsweise dem Interesse des Verbrauchers dienen noch der Genusswert, Frische, Aussehen, Geruch, Geschmack, Gesundheitswert, Nährstoff- und Energiegehalt, möglicherweise auch der Gehalt an positiv bewerteten Inhaltsstoffen.

Diese Zersplitterung hat zu einer breiten Verunsicherung und Meinungsvielfalt über die Lebensmittelqualität geführt. Während eine «wissenschaftliche» Richtung im Wesentlichen auf ihre extrem gut entwickelte Inhaltsstoffanalytik setzt und dem Dogma folgt, dass alle Stoffe, die nützlich sind, auch die Qualität der Lebensmittel nur erhöhen können, wenn man sie dort anreichert, werben weltanschauliche Meinungs-

führer mit «ganzheitlichen» Aspekten, die im Wesentlichen mit Überlieferungen, Ideologien oder Erfahrungen begründet werden. Wenngleich so immerhin eine Vielzahl ernährungsbedingter Erkrankungen ausgemerzt werden konnte, sind neue unerwartete «Zivilisationserkrankungen» wie chronische Fehlernährungen, Allergien, Rheuma, Bluthochdruck, Psychosen und Skandale wie BSE, gehäuftes Auftreten von Tierseuchen, Lebensmittelvergiftungen und Verunreinigungen des Tierfutters dazu gekommen. Zwar verfolgen die beiden recht gegensätzlichen Denkrichtungen in legitimer Weise vorwiegend wirtschaftliche Ziele – so kommt es vor, dass die eine Richtung ein Lebensmittel für hochwertiger hält, weil eben solche Zusatzstoffe beigemischt werden, die die andere Seite aber mit dem gleichen Argument bewusst heraus lässt. Die Opponenten bedenken aber nicht oder nur unzureichend die Einbettung der Lebensmittelqualität in elementare Probleme gesellschaftlicher und umweltpolitischer Relevanz. Sie übersehen die synergetischen Effekte der Einzelkomponenten des Lebensmittels, aber auch die zwischen Lebensmitteln und Verbraucher. Subjektive, individuelle, von vielen Umständen abhängige Wechselwirkung zwischen Nahrung und Verbraucher verbieten eigentlich die Standardisierung der Qualität bis auf Grenzbetrachtungen, und es ist falsch, zu glauben, dass die Inhaltsstoffanalytik ein vollständiges Bild der Qualität zu liefern vermag, ebenso wie es falsch ist, die natürliche Vielfalt der Lebensmittel einzuschränken, sei es, aus weltanschaulichen oder Sicherheitsgründen. In jedem Fall werden evolutive Möglichkeiten aufs Spiel gesetzt.

Der Wissenschaftler, der schon vor einem halben Jahrhundert diese Probleme im Prinzip gelöst hatte und gefährliche Entwicklungen in unserer Gesellschaft verhindert hätte, wenn man ihm gefolgt wäre, ist Erwin Schrödinger, der als Pionier der Quantentheorie den Nobelpreis für Physik erhielt.

## Die Ordnung der Nahrung

Der Physiker aus Wien, Entdecker der berühmten «Schrödinger-Gleichung», schrieb 1945 in seinem Buch «What is Life» die folgenden entscheidenden Sätze zum Verständnis der Lebensmittelqualität:

*«Der Kunstgriff, mittels dessen ein Organismus sich stationär auf einer ziemlich hohen Ordnungsstufe (einer ziemlich tiefen Entropiestufe) hält, besteht in Wirklichkeit aus einem fortwährenden Aufsaugen von Ordnung aus seiner Umwelt. Dieser Satz ist gar nicht so paradox, wie er auf den ersten Blick aussieht. Man könnte ihm eher vorwerfen, er sei eine Plattheit. In der Tat, im Fall der höheren Tiere kennen wir die Art der Ordnung, von welcher sie sich ernähren, recht gut; es ist der äusserst wohlgeordnete Zustand der Materie in den mehr oder minder komplizierten organischen Verbindungen, welche ihnen als Futter dienen. Nach der Benutzung geben sie es in sehr stark abgebauter Form wieder von sich – jedoch nicht vollständig abgebaut, da Pflanzen noch immer dafür Verwendung haben (diese besitzen ihren stärksten Vorrat an negativer Entropie selbstverständlich im Sonnenlicht).»*

Daraus ergibt sich sofort ein konkretes und brauchbares Mass für die Qualität der Nahrung:

Die Lebensmittelqualität ist umso höher zu bewerten, je mehr negative Entropie (Negentropie) der Verbraucher dem Lebensmittel pro Masseneinheit entziehen kann. Das unterscheidet Schrödingers Definition dramatisch von den herkömmlichen Betrachtungen, die anstelle der Negentropie die Energie oder/und bestimmte Inhaltsstoffe setzen.

Das muss im Übrigen nicht immer zu Widersprüchen führen. Aber es weist auf ein übergeordnetes Prinzip hin, das alle Irrtümer und Unvollkommenheiten der bisherigen Betrachtungen zu korrigieren vermag.

Unter Negentropie hat man hier die Entropie des Verbrauchers vor und nach dem Verzehr der Nahrung zu betrachten. Die Nahrungsaufnahme sollte nach Schrödinger zu einer Entropieminderung des Ver-

brauchers führen, die – nach dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre – nur zu einer Entropieerhöhung der Ausscheidungsprodukte führen kann. Die Differenz der Entropie von Ausscheidungsprodukt und ursprünglicher Nahrung muss dabei grösser (oder höchstens gleich) der Entropiedifferenz des Verbrauchers vor und nach Aufnahme der Nahrung sein. Im einfachsten Bild wird der Verbraucher deshalb als «Ordnungsräuber» bezeichnet. Die Aufgabe der Nahrung ist es demnach, die extrem hohe Ordnung des Verbrauchers – wie das korrekte «timing» des Metabolismus, der Organfunktionen, des Wachstums und der Differenzierung bis hin zur geordneten Bewusstseinsentfaltung – aufzubauen und zu stabilisieren.

Schrödingers Konzept hat im Gegensatz zur üblichen («klassischen») Betrachtungsweise den Vorteil, dass es

- (1) subjektive Komponenten des Verbrauchers berücksichtigt,
- (2) die rein inhaltsstoffliche Betrachtung durch eine weit bessere und gründlichere, quantitative und widerspruchsfreie Analyse zu ersetzen vermag,
- (3) im Prinzip in jedem Einzelfall ein quantifizierbares, wissenschaftliches Mass für die Lebensmittelqualität definiert.

So erklärt diese Definition zum Beispiel die besondere Bedeutung des Appetits. Das Verlangen nach dem passenden Lebensmittel ermöglicht erst die optimale Nutzung der Nahrung, zum Beispiel durch die Bereitstellung der passenden Verdauungsenzyme, bevor der eigentliche Verdauungsvorgang der stofflichen Anteile überhaupt begonnen hat. Es ist gut vorstellbar, dass die durch den Appetit ausgelöste Bereitstellung optimal wirksamer Enzyme eine notwendige Bedingung für die maximale Entropiedifferenz zwischen ursprünglichem Lebensmittel und seinen Verdauungsprodukten ist. Insofern hängt die Qualität der Nahrung auch von der passenden Auswahl durch den Verbraucher ab.

Die Definition Schrödingers erklärt auch zum Beispiel die Bedeutung der Ballaststoffe, die die herkömmliche Lebensmittelanalytik nicht verstehen kann. Schrödinger belegt, dass ein Lebensmittel mehr ist als die Summe seiner Komponenten. Schrödingers Definition liefert den richtigen Ansatz für das Verständnis der synergetischen Wechselwirkungen aller stofflichen Komponenten. Sie zeichnet Lebensmittel

nicht vorwiegend als Energieträger aus, sondern als Botschaft, als Information.

Sie gibt die wissenschaftliche Begründung für die evolutive Bedeutung der Nahrung, für die Risiken, die wir mit den «Aufbesserungen» der Lebensmittel und den Umweltbelastungen in Kauf nehmen, und für die Notwendigkeit, unsere Nahrung vor Desinformation zu schützen und ihre Diversität zu erhalten. Sie begründet langfristige Schäden bei falscher Ernährung, die sich in keinem wissenschaftlichen Experiment nachweisen lassen, obwohl sie sich über Jahrzehnte zu Katastrophen in der gesellschaftlichen und kulturellen Entwicklung der Nationen auftürmen können.

Schrödinger beeinflusste Strömungen wie die des Schweizer Arztes Bircher-Benner und des deutschen Arztes W. Kollath. Wenngleich diese Pioniere wesentliche Ideen seiner Botschaft übernahmen, verstanden sie die physikalischen Konsequenzen offenbar nur partiell. Ihr «Kampf» für den richtigen Weg war aber entscheidend für die Entwicklung dieser Richtung. So wurde die Offenheit der Gesellschaft für dieses Gedankengut bewahrt.

### Biophotonik

Nach russischen Biophysikern und zusammen mit russischen, polnischen, italienischen, australischen und japanischen Wissenschaftlern entdeckten wir um 1975 an der

Universität Marburg eine extrem schwache Lichtemission aus allen lebenden Organismen. Wir nannten sie «Biophotonen» und etablierten gemeinsam mit weiteren wissenschaftlichen Instituten aus Asien, USA und Europa das international anerkannte Gebiet «Biophotonik» und ein gemeinsames Institut. Es dient dem Ziel, biologische Systeme über Biophotonen und die Wechselwirkung mit elektromagnetischen Wellen zu ergründen sowie Anwendungsgebiete zu erschliessen. Einer der Bereiche war die Lebensmittelanalytik und das Verständnis der Lebensmittelqualität über die Nutzung der Biophotonik. Die Erkenntnisse stützen sich heute auf tausende von Experimenten mit weit über 200 verschiedenen Lebensmitteln, deren Biophotonenemission bzw. deren «verzögerte Lumineszenz» in Abhängigkeit von allen möglichen Qualitätsparametern untersucht wurde. Ich möchte mich auf drei grundlegende Experimente stützen, bevor ich die Theorie und insbesondere den Zusammenhang zu Schrödingers Qualitätsbegriff vertiefe und einige Erläuterungen zur Technik und Anwendungsvielfalt gebe.

In einer ersten Versuchsserie setzten wir jeweils Gurkenkeimlinge gleicher Masse, aber verschiedener Qualität (Frische, Alter, Düngevarianten) passenden Verdauungsenzymen aus und registrierten die während des enzymatischen Abbaus emittierten Biophotonen. Es war eine klare Korrelation zwischen Biophotonenemission und der einschätzbaren Qualität der Keimlinge zu

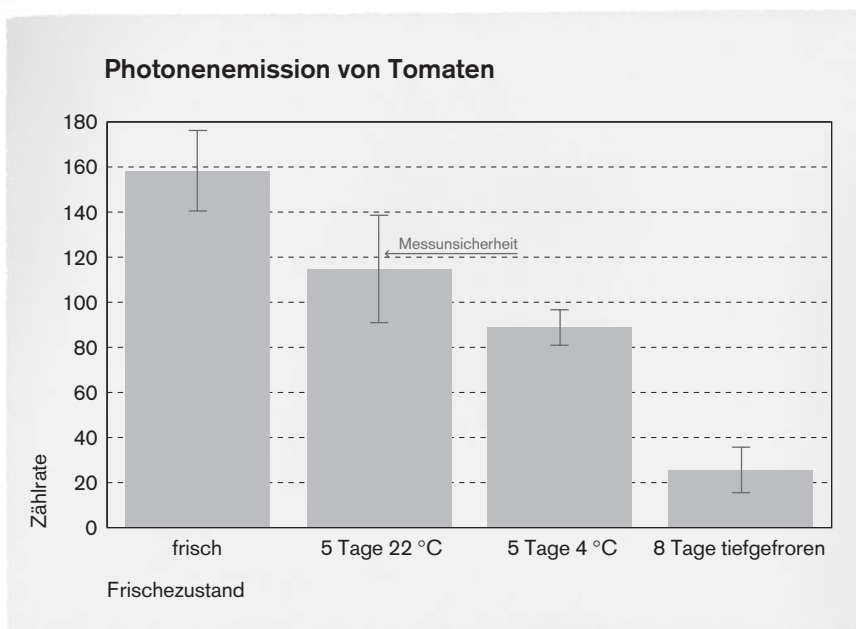


Abb. 1: Mit abnehmendem Frischezustand (abnehmender Qualität) nimmt die Lichtspeicherfähigkeit der Nahrung ab

## Eier aus Boden- und Freilaufhaltung

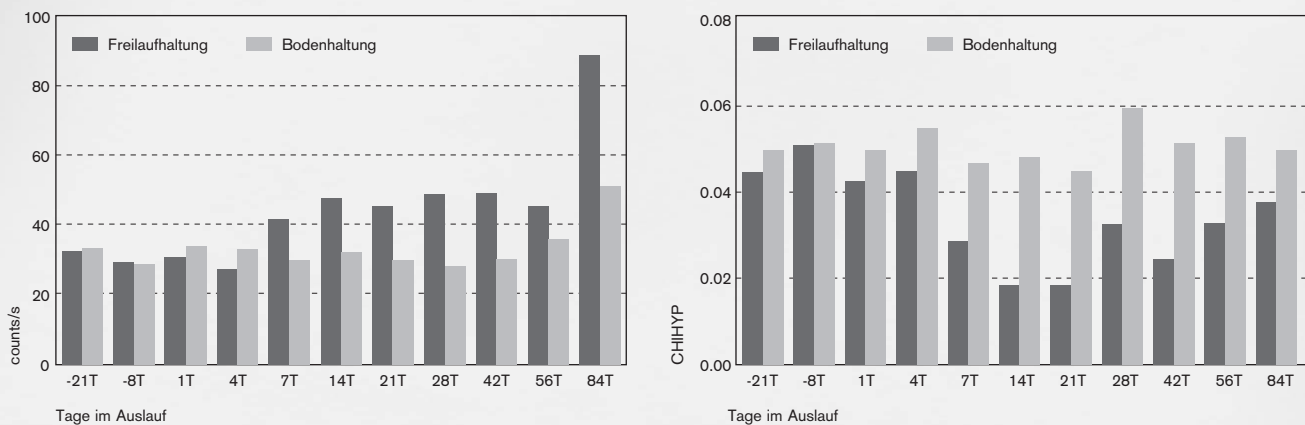


Abb. 2: Batterieier (hellgraue Balken) liefern über das Jahr hinweg bis auf natürliche Schwankungen sowohl konstante Lichtspeicherwerte als auch konstante Ordnungsgrade. Freiland Eier (dunkelgraue Balken) dagegen zeigen selbst dann – wie hier – wenn keine stofflichen Unterschiede nachweisbar sind, mit zunehmendem Freilauf (hier auf Sand) höhere Lichtspeicherwerte (obere Kurve) und mit verbessertem natürlichem Sonneneinfluss bessere Ordnungsgrade (untere Kurve). Die Balken sind so normiert, dass die Lichtspeicherfähigkeit mit wachsender Höhe zunimmt und der Ordnungsgrad umso höher, je niedriger der Balken ist. Die Fehler der Messungen betragen nur 5 Prozent

beobachten. Das bestärkte unsere Hypothese, dass die Negentropie, von der Schrödinger sprach, durch Biophotonen übermittelt wird. Erinnerung man sich an seine oben genannte, in Klammern zugefügte Bemerkung, dass Pflanzen ihren stärksten Vorrat in negativer Entropie selbstverständlich im Sonnenlicht haben, dann kann dieses Ergebnis nicht verwundern. Die Hypothese, die daraus abzuleiten ist, lautet: Der Biophotonengehalt (Entropie und Energiegehalt des Strahlungsfeldes) bestimmt die Qualität der Nahrung. Bestätigt wurde diese Vermutung durch einen weiteren Versuch, der sich daran anschloss. Die Keimlinge, deren Qualitätsreihenfolge durch den ersten Versuch bekannt war, wurden der Technik der «verzögerten Lumineszenz» unterzogen. Darunter versteht man die Messung der reemittierten Biophotonen nach Anregung der Keimlinge mit weißem oder monochromatischem Licht. Man kann auf diese Weise die Lichtspeicherfähigkeit der Keimlinge austesten. Die Ergebnisse zeigten, dass eine ebenso klare Korrelation zwischen Qualität der Keimlinge und ihrer Lichtspeicherfähigkeit bestand, wie sie zwischen Qualität und Biophotonen-Inhalt festgestellt worden war. Daraus resultierte die zweite Hypothese: Um die Qualität der Lebensmittel zu testen, ist es nicht nötig, den Biophotonen-Inhalt während der langwierigen

enzymatischen Verdauung zu messen. Wesentlich einfacher ist es, die Methode der verzögerten Lumineszenz einzusetzen. Weitere Bestätigungen folgten nicht nur aus der praktische Nutzung dieser Methode und der vielfachen Übereinstimmung zwischen den Messergebnissen und jenen bekannten Eigenschaften, aus denen die Qualität gefolgert werden konnte, sondern insbesondere aus einem Doppelblind-Versuch mit Batterie und Freiland-Eiern von Hühnern, die bis auf den Unterschied im Auslauf sonst völlig gleichen Bedingungen unterworfen waren, also gleiche Abstammung, gleiches Alter, gleiche Vorgeschichte aufwiesen und gleiches Futter bekamen. Irgendwelche stofflichen Unterschiede in den Eiern konnten nicht nachgewiesen werden. Zur Überraschung aller Beteiligten liessen sich die Freiland Eier von den Batterieiern bereits acht Tage nach Trennung der Hühner in die beiden Gruppen signifikant in der Biophotonenemission unterscheiden. Die Freiland-Eier wiesen die wesentlich höhere Lichtspeicherfähigkeit und die wesentlich niedrigere Entropie der Biophotonen im «verzögerte Lumineszenz»-Test aus. Dieses Ergebnis bewies, dass nicht Energieinhalt oder Inhaltsstoffe für die Qualität massgebend sind, sondern – wie Schrödinger als erster richtig erkannte und formulierte – in übergeordnetem Sinne das Potential der Negentropie,

die dem Verbraucher zugeführt werden kann. Das Resultat zeigte, dass die Biophotonik in der Lage ist, dieses Potenzial zu messen und damit die Lebensmittelqualität zu bestimmen. Der «Eiertest» wurde zwischenzeitlich sowohl an der Gesamthochschule Kassel als auch an der Universität Bonn erfolgreich wiederholt. Die neuesten Ergebnisse sind grob in *Abbildung 2* dargestellt.

### Technische Grundlagen und Anwendungsbereiche

Die Biophotonik stellt Messgeräte bereit, die einzelne Lichtquanten im optischen Spektralbereich zwischen 200 und 800 nm registrieren können. Die Technik beruht auf dem Einsatz von Photomultipliern, deren Empfindlichkeit und deren Signal-Rausch-Verhältnis den Biophotonenströmen der Objekte optimal angepasst wird. Standardgeräte, die wir in den letzten Jahren entwickelten, erreichen eine Sensitivität von zirka  $10^{-17}$  W bei einem Signal-Rausch-Verhältnis, das im Allgemeinen die Grössenordnung 10 übertrifft. Die Langzeitstabilität der Geräte liegt über Jahre bei zirka 95 Prozent des Ausgangswertes. Japaner, die in der Technik lange Zeit führend waren, bestellen inzwischen Präzisionsgeräte bei uns.

Gemessen werden im Allgemeinen die folgenden Werte:

1. Eigenleuchten der Proben nach definierter Adaption an die Dunkelheit des Messraums in Counts/Sekunde: DA-Wert. Die Zeiteinheit, in der die Photonen gezählt werden, kann bis auf  $10^{-7}$  s reduziert werden.
2. Relaxationsleuchten der Proben nach definierter Anregung. Die Probe wird dabei

im Allgemeinen mit einer Lichtquelle (Weisslicht oder monochromatisches Licht) in bestimmter Weise belichtet. Nach dem Abschalten des Anregungslichts klingt die emittierte Photonenemission langsam auf einen bestimmten Endwert ab. Diese «verzögerte Lumineszenz», die in Abhängigkeit vom Probenmaterial von Bruchteilen einer Sekunde bis zu Stunden andauern kann, wird in Abhängigkeit von der Messzeit registriert und als zeitabhängige Funktion  $NB(t)$  mit  $t$  als Messzeit elektronisch gespeichert.

Der Unterschied zur gewöhnlichen Fluoreszenz oder Phosphoreszenz besteht darin, dass die Intensität bei der verzögerten Lumineszenz bis zu zwanzig Größenordnungen niedriger ist, und die Abklingzeit der reemittierten Photonenemission bis zu 15 Größenordnungen länger. Während aus der Wellenlängenabhängigkeit der Fluoreszenz oder Phosphoreszenz Rückschlüsse auf die Inhaltsstoffe gezogen werden können, erlaubt die Analyse der spektralen Abklingfunktionen der verzögerten Lumineszenz wertvolle Aussagen über die Negentropie der betrachteten Proben. In der Regel kann man auf die Ausschöpfung der gesamten verfügbaren Messinformation verzichten, da bereits einzelne Messgrößen bei vergleichbaren Proben unterschiedliche Werte aufweisen, die nach Auswertung bereits hinreichend informieren.

So lässt sich das Verfahren zum Beispiel zur Identitätskontrolle einsetzen. Wann im-

mer keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei Proben auftreten, kann man mit guter Berechtigung annehmen, dass die Proben gleiche Qualität haben. Umgekehrt lassen sich aus signifikanten Unterschieden auch verlässliche Qualitätsunterschiede ableiten. *Abbildung 1* zeigt die Abhängigkeit der Qualität vom Frischezustand bei Tomaten. In diesem Fall ist nur ein einziger Parameter notwendig. Die Messung kann in wenigen Minuten abgeschlossen werden. Die vollständigen biophotonischen Visitenkarten einer Probe lassen sich in der kurzen Zeit von zirka 10 bis maximal 30 Minuten registrieren und der Auswertung nach Unterschieden zu Vergleichsproben, Lichtspeicherfähigkeit, Mass für die Negentropie und vielen anderen Qualitätsparametern auswerten. Besonders bewährt hat sich die Faktorenanalyse, die für vergleichbare Proben angibt, in wie viel unabhängigen Dimensionen sich die betrachteten Lebensmittel unterscheiden – so können zum Beispiel Rosen gut aussehen und gut riechen, sodass zwei unabhängige Dimensionen zur Beschreibung ihrer Qualität notwendig sind. Die Faktorenanalyse erlaubt dann die Angabe einer quantitativen Qualität in der Reihenfolge sinkender Qualität für die verschiedenen Dimensionen (so z. B. *Eier nach Abbildung 2*).

*Tabelle 1* fasst die verschiedenen Anwendungsbereiche übersichtlich zusammen.

Die Biophotonik nutzt letztlich die Zusammenhänge zwischen visuellen Eigenschaften und der Qualität von Lebensmitteln, die jede Hausfrau aus Erfahrung ebenso zu

verwerten vermag wie sie zur Täuschung des Verbrauchers von einigen Händlern gerne auch missbraucht werden. Der Unterschied zur Hausfrau besteht in der Objektivierbarkeit und quantitativen Umsetzung der Zusammenhänge und der Tatsache, dass Täuschungsversuche im Fall der Biophotonik misslingen. Mithilfe der Biophotonik können Probleme gelöst werden, die von der konventionellen Lebensmittelanalytik nicht zu überwinden sind, so neben genannten Beispielen die Bestimmung der Keimfähigkeit von Getreide oder die Ermittlung des Frischezustands von Waren. Andererseits eignet sich die Biophotonik nicht als Ersatz für die Inhaltsstoffanalytik. Sie kann aber ebenso auch standardisiert werden. Ihre Werte in einer Datenbank liefern zu jedem Zeitpunkt Auskunft über die aktuelle Qualität einer Ware im Vergleich zu den Qualitäten vergangener Lieferungen. Sie dienen so neben der schnellen Überprüfung einer objektiven Festlegung von Preis/Leistungs-Verhältnissen der Aufklärung des Kunden, der Werbung und der Lebensmittelsicherheit.

International Institute of Biophysics  
Fritz-Albert Popp  
Kapellener Strasse o.N.  
DE-41472 Neuss  
Telephone +49 (0)21 8282 51 31  
Telefax +49 (0)21 8282 51 32  
www.biophotonen-online.de  
iib@lifesciences.de

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten der Biophotonik

Anwendungsgebiet	Beispiele	Begründung
- Mustererkennung - Identitätsprüfung	- Warenkontrolle	- Optische Visitenkarte hat hohes Auflösungsvermögen
- Optimierung der Produktion - Lagerung - Verarbeitung	- Günstigste Sortenwahl - Bester Standort - Optimale Haltung, Reifegrad - Optimale Konservierung - Packungsmaterial	- Ware lässt sich nicht invasiv und schnell über lange Zeit testen und beurteilen
- Erkennung innerer Faktoren	- Gehalt an Inhaltsstoffen - Belastungen - Keimfähigkeit von Getreide - Backfähigkeit des Mehls - Frischezustand	- Nach Standardisierung sind geringste Änderungen nachzuweisen
- Erkennung externer Faktoren	- Einfluss von Boden, Klima, Düngung, Schadstoffen, Zusätzen, physikalischen Behandlungen, Kontamination	- Alle Faktoren schlagen sich empfindlich in Biophotonenemission nieder
- Ganzheitliche, objektivierbare Qualitätsanalyse - Mass für Negentropie	- Faktorenanalyse bei vergleichbaren Proben - Sensorik, Frische - Dimensionalität der Ware - Verträglichkeit - Qualitätsabstufung	- Biophotonik erlaubt übergeordnete Analysen im Sinne E. Schrödingers

#### Literatur:

- [1] F.-A. Popp: Die Botschaft der Nahrung. 4. Auflage. Zweitausendeins. Frankfurt 2003.
- [2] E. Schrödinger: What is Life? Cambridge Universität Press, London 1945; dt.: Was ist Leben? Piper, München 1999.
- [3] W. Kollath: Die Ordnung unserer Nahrung. 6. Auflage. K.F. Haug Verlag, Heidelberg 1977.
- [4] J. Mehlhase: Biopress 34 (2003), 69–71.
- [5] F.-A. Popp: Biophotonik – Eine nichtinvasive Methode zur Analyse der Lebensmittelqualität. In: Zerstörungsfreie Qualitätsanalyse. DGQ-TU München. XXXIV. Vortragstagung 1999. Freising, S. 237–248.
- [6] M. Bischof: Biophotonen. Das Licht in unseren Zellen. 12. Auflage. Zweitausendeins, Frankfurt 2003.
- [7] F.-A. Popp und L. Belousov: Biophotonics. Kluwer Academic Publishers.
- [8] E. Kapfelsberger und U. Pollmer: Iss und stirb. Kiepenheuer & Witsch, Köln 1983.
- [9] H.-U. Grimm: Die Suppe lügt. Klett-Cotta, Stuttgart 1997.
- [10] H. P. Dürr, F.-A. Popp and W. Schommers: What is Life? World Scientific. New Jersey-London 2002.
- [11] Patent DE 901225862