

# Lebensmittelqualität – elektrochemisch betrachtet



Foto: Peter Meyer, aid

DIN 55350 Teil II definiert Qualität als die Gesamtheit aller messbaren Eigenschaften und Merkmale eines Produktes. Bezogen auf die Lebensmittelqualität unterscheidet man objektiv messbare und subjektive Qualitätskriterien. Zu den objektiven Kriterien zählen in erster Linie handelsrechtliche Vorgaben (z. B. Mindestmaße und -gewichte), chemoanalytisch feststellbare Inhaltsstoffe, toxisch wirkende Rückstände und technologische Eigenschaften.

Die Bedeutung der Chemoanalyse ist unbestritten. Es stellt sich nun die Frage, ob sie nach heutigem Erkenntnisstand ergänzungsbedürftig und ergänzungsfähig ist, zum Beispiel durch die Elektrochemie. Während die Lebensmittelchemie nur den stofflichen Aspekt eines Lebensmittels betrachtet, finden bei der Elektrochemie auch elektronenenergetische, strukturelle und synergetische Aspekte Berücksichtigung. Im Rahmen einer ganzheitlich orientierten Qualitätsdiskussion wäre eine derartige Erweiterung wünschenswert, denn erst die Betrachtung von Stoff *und* Struktur ermöglicht eine umfassende Beurteilung der Funktion eines Lebensmittels für den Menschen. Auch ein Haus ist nicht nur durch die Menge der Baustoffe hinreichend beschrieben. Erst durch die ordnende Tätigkeit des Architekten entsteht die Funktionalität für den Hausbewohner. Eine Erweiterung der objektiven Qualitätskriterien mahnen selbst Chemiker schon seit längerer Zeit an. So hat Schormüller (1974) in seinem Standardlehrbuch der Lebensmittelchemie geschrieben: „Diese historisch verständliche Einseitigkeit [nämlich die ausschließlich stofflich-chemische Beurteilung der Lebensmittelqualität, Anm. d. Autors] darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass wir damit nur einen Teil der Eigentümlichkeit unserer Lebensmittel erfassen. Und so ergibt sich die zweite Seite unserer Wissenschaft, die zunehmende Bedeutung erlangt und über Gesichtspunkte alter Prägung hinausreicht, indem sie dynamische Aspekte berücksichtigt.“ Und weiter heißt es: „Im Sinne solcher Betrachtungsweise sind alle Produkte, die wir im Rahmen der

Erhaltung unseres Lebens als Lebensmittel bezeichnen, darüber hinaus in den meisten Fällen dadurch gekennzeichnet, dass sie ein eigenes Leben führen.“ Womit kann man aber das Lebendige im Lebensmittel erfassen?

## Welche Denkanstöße führen zur Elektrochemie?

Der Mensch ist nicht nur ein stofflich, sondern auch ein elektrisch funktionierender Organismus, wie die moderne Medizin anhand vieler elektrischer Diagnosen wie EKG und EEG demonstriert. Diese „Bio-Elektrizität“ ist offenbar ein Charakteristikum des Lebendigen. Die elektrischen Impulse sind an das Lebendige gekoppelt und lassen sich messtechnisch als feinste Ströme darstellen. Elektrische Ströme aber sind ohne Elektronentransport und daraus resultierende elektrische Spannung nicht vorstellbar. Wo finden diese Elektronenströme und deren Spannungsverhältnisse in der traditionellen Beurteilung von Lebensmitteln ihren Niederschlag? Nur mit den Methoden der Elektrochemie lassen sich über Redoxpotenziale derartige Zustände in Lebensmitteln wissenschaftlich darstellen.

## Welche Bedeutung haben Elektronen im Lebensmittel?

Kollath (1968) schreibt in seinem Buch „Regulatoren des Lebens – Vom Wesen der Redox-Systeme“: „Nahrung, die ihre Reduktionsfähigkeit verloren hat, ist tot.“ Was heißt das? Nahrung, die nicht mehr in der

Lage ist, Elektronen(-energie) abzugeben, ist für den Körper nutzlos. Es ist deshalb zu überlegen, welche Ergänzung es zur Chemoanalyse gibt, um die Reduktionsfähigkeit, das heißt das Potenzial unserer Lebensmittel zur Elektronenabgabe zu messen. Gleichermaßen gilt es, sich auf die Suche nach den Stoffen und Eigenschaften der Lebensmittel zu machen, die ein hohes Reduktionspotenzial bedingen. So stoßen wir auf „bioaktive“ oder „sekundäre Pflanzenstoffe“, die heute in aller Munde sind, vor etwa 15 Jahren aber noch kein allgemeines Thema waren. Pflanzenwirkstoffe aus dem sekundären Stoffwechsel der Pflanzen waren Biologen zwar als Farb-, Aroma- und Bitterstoffe bekannt, von deren Funktion für die menschliche Gesundheit aber ahnten sie noch nichts. Man schätzt heute, dass es 10.000 solcher Verbindungen auf der Welt gibt. Etwa 120 der in europäischen Pflanzen vorkommenden sind in ihrer Funktion bereits genauer bekannt.

## Welche Aufgaben haben die sekundären Pflanzenstoffe?

Aus botanischer Sicht erfüllen die sekundären Pflanzenstoffe wichtige Funktionen zur Arterhaltung, nämlich die Abwehr von Krankheiten und Schädlingen sowie die Sicherung der Fortpflanzung über Farb-, Duft- und Geschmacksstoffe in Blüten, Samen und Früchten. Durch das Abwehren von Schädlingen zum Beispiel durch Bitterstoffe vermeidet die Pflanze Stress. Für den Konsumenten heißt das: Wenn die Wachstumsbedingungen der Pflanzen stressarm sind, müssen diese ihre wertvollen Inhaltsstoffe nicht selbst aufbrauchen. Sie stehen daher dem Menschen in größerer Menge zur Verfügung.

Sekundäre Pflanzenstoffe sind Elektronenspender, deren Elektronengehalt elektrochemisch über das Redoxpotenzial (Millivolt) gemessen werden kann. Dazu liegen zwischenzeitlich mehrere Tausend Messungen vor. Als gemeinsames Ergebnis dieser Messungen bestätigt sich folgende Vermutung: Je artgerechter eine Pflanze erzeugt, je

schonender sie für die Ernährung aufbereitet und je naturbelassener sie konsumiert wird, desto größer ist das Elektronenangebot für den Menschen. Eine Ausnahme bilden Tomaten. Hier verbessert Kochen die Bioverfügbarkeit von Lycopin, einem sekundären Pflanzenstoff aus der Gruppe der Carotinoide, und damit das Potenzial zur Elektronenspende. Elektrochemisch messbare Lebensmittelqualität ist also untrennbar mit der „Lebensgeschichte“ eines Lebensmittels gekoppelt und kann über das Redoxpotenzial messtechnisch nachvollzogen werden. Je niedriger dabei der gemessene Millivolt-Wert ausfällt, desto reduzierter (= reicher an Elektronen (-energie)) ist das Lebensmittel. Wozu braucht unser Körper derartige Elektronenangebote aus der Nahrung?

## Was sagt die Medizin?

Der menschliche Organismus hat ein großes Reduktionsbedürfnis. Das wird unter anderem daran deutlich, dass der Gluthation-Komplex, ein Enzymsystem, das wesentlich an der Entgiftung des menschlichen Körpers beteiligt ist, ein Verhältnis von 400:1 von reduktiv zu oxidativ wirksamen funktionellen Gruppen aufweist. Eine der wichtigsten Funktionen dabei ist die Neutralisation von freien Radikalen. Freie Radikale sind chemische Verbindungen mit einem Elektronendefizit. Den Verbindungen fehlen ein Elek-

tron oder mehrere Elektronen für einen neutralen Ladungszustand. Sie sind im Körper sehr aggressiv und erzwingen einen Ladungsausgleich, indem sie von anderen Verbindungen Elektronen „rauben“. Diese werden dadurch aggressiv und gehen ihrerseits wieder auf Elektronenfänger. So entsteht ein Domino-Effekt im Körper bis eine Neutralisation der freien Radikale erfolgt. Die naturgegebenen Elektronenspender sind die Lebensmittel. Freie Radikale wären für den Körper nicht weiter tragisch, wenn sie nicht auch gesundheitlich wichtige Zellen und Zellteile angreifen würden. So gelten Krankheiten wie Alzheimer, Parkinson, Herz-Kreislauferkrankungen, einige Krebsarten und vorzeitiges Altern als Folge der häufigen Einwirkung freier, nicht neutralisierter Radikale auf den Organismus. Sekundäre Pflanzenstoffe in Lebensmitteln sind für die menschliche Gesundheit also vor allem in ihrer Eigenschaft als Radikalfänger von Bedeutung.

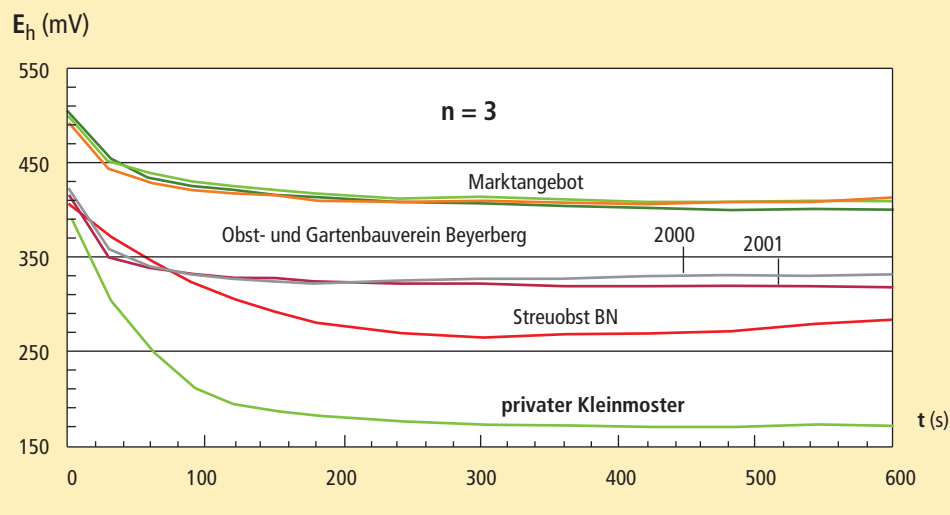
## Wie funktioniert die Messung?

Zur Bestimmung elektrochemischer Parameter in Lebensmitteln entwickelte die Firma EQC (Elektrochemisches Qualitäts-Consulting, Weidenbach) einen praxiserfahrenen Screening-Test, der im Rahmen des Forschungsprojekts „Bundesprogramm Öko-Landbau“ an Möhren und Getreide validiert wurde (*BMVEL o. J.*). Da elektro-



Abbildung 1:  
Elektrochemischer  
Arbeitsplatz

Abbildung 2: Redoxmessungen bei Apfelsäften (EQC)



chemische Messungen nur im wässrigen Milieu durchführbar sind, müssen alle Proben in flüssiger Form oder als flüssiger Auszug (Eluat) vorliegen.

In einem Messgefäß, das auf einem Magnetrührer steht, befinden sich eine pH-Elektrode, eine Redoxelektrode sowie der Leitfähigkeitssensor mit integriertem Thermofühler. Ein angeschlossener Datenlogger speichert nach einem frei wählbaren Zeitintervall (5 s–24 h) jeweils einen Datensatz. Da sich die Fließgleichgewichte bei Redoxmessungen produktabhängig zeitlich unterschiedlich einstellen, ist bei der Festlegung der Labor-Standardmethoden für die jeweiligen Untersuchungen auch die Vorgabe der Messzeiten erforderlich (Abb. 2). Eine Software berechnet aus den Messdaten das temperaturkorrigierte und auf die Wasserstoffelektrode bezogene Redoxpotential ( $E_h$ -Wert).

## Was besagen die elektrochemischen Merkmale?

Nach Kemeny (Roujan 1975) sind über den pH-Wert, das Redoxpotential und die elektrische Leitfähigkeit (= elektrischer Widerstand<sup>-1</sup>) alle Eigenschaften des Lebendigen beschreibbar.

### ● pH-Wert

In einem gesunden Organismus wird der pH-Wert in den verschiedenen intra- und extrazellulären Zell-Kompartimenten jeweils auf einem Wert stabilisiert, bei dem die dort wirksamen Enzyme ihr Aktivitätsmaximum haben. Das Leben ist nur in einem arttypischen eng begrenzten Bereich möglich. Größere Abweichungen von diesem Wert erlauben Rückschlüsse auf Gesundheit und/oder artfremde Produktions- oder Verarbeitungsweisen. Der pH-Wert wird als dimensionslose Zahl mit Werten von 1 bis 14 angegeben.

### ● Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit einer Probe gibt Aufschluss über die Anzahl der beweg-

lichen elektrischen Ladungsträger. In wässrigen Lösungen, also allen lebenden Systemen, sind das Ionen, da freie Elektronen nur in Festkörpern existieren. Außer Wasserstoff- und Hydroxylionen kommen noch zahlreiche andere Ionen wie Hydrogencarbonat-, Phosphat-, Kalium- und Natriumionen vor. Alle in der Probe vorliegenden Ionenkonzentrationen bestimmen zusammen die Leitfähigkeit oder den spezifischen Widerstand der Probe.

In umfangreichen Studien – zuletzt an der Universität Freiburg (Steger-Hartmann et al. 1995) – ließ sich nachweisen, dass zellmembran-toxische Substanzen (Detergenzien, organische Lösungsmittel, Pflanzenschutzmittel und andere Radikalbildner) Elektrolytverluste aus der Zelle in das umgebende wässrige Medium verursachen. Der Elektrolytverlust im intakten Zellverband stellt somit ein Maß für die Größe der Membranschädigung dar und kann über den Leitfähigkeitstest diagnostiziert werden. Auch der Reifeverlauf einer Frucht lässt sich über Leitfähigkeitstests verfolgen. Die Leitfähigkeit wird in Millisiemens pro Zentimeter (mS/cm) angegeben.

### ● Redoxpotential

Der theoretische Ansatz der Redoxmessung beruht auf den Fundamentalsätzen der Thermodynamik (1. und 2. Hauptsatz). Aus ihnen lässt sich die Aussage ableiten, dass Lebensmittel mit niedrigerem Redoxpotential besser zum Aufbau von struktureller Ordnung im Körper und zur Neutralisation von freien Radikalen geeignet sind. Da das Redoxpotential auch ein Maß für die Neigung einer Substanz zur Elektronenabgabe ist, erhält man damit auch einen Parameter für die antioxidative Wirkung, also die Fähigkeit zur Neutralisation freier Radikale. Je reduzierter eine Verbindung (das heißt je niedriger der in Millivolt (mV) gemessene Wert für das Redoxpotential) ist, desto höher ist ihre antioxidative Kapazität.

## Welche praktische Bedeutung haben elektrochemische Messungen?

Nach Tausenden von repräsentativen und reproduzierbaren Messungen lässt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der „Lebensgeschichte“ eines Lebensmittels und den elektrochemischen Parametern herstellen, so dass sich aus dieser Sicht „Qualität als das Endprodukt aller Produktionseinflüsse und deren gesundheitliche Relevanz für den Konsumenten“ definiert (Meier-Ploeger, Vogtmann 1991). Herausragende Bedeutung hat aus gesundheitlicher Sicht dabei das Redoxpotential, das die Reduktionsfähigkeit eines Lebensmittels charakterisiert und sich für die Beurteilung der elektrochemisch interpretierbaren Gesundheitsrelevanz für den Konsumenten vor allem am Zusammenspiel reduktionsfähiger Verbindungen (Vitamine und sekundäre Pflanzenwirkstoffe) orientiert.

Aus den vorliegenden Messergebnissen lässt sich ableiten: Je stressärmer sich die Produktentwicklung gestalten konnte, desto reduzierter (also elektronenreicher) ist das Produkt. Dieser Erkenntnis liegt die Hypothese zugrunde, dass die Organismen reduzierte Verbindungen vorwiegend zur eigenen Fortpflanzung, Gesundheits- und Überlebenssicherung anlegen. Je mehr diese reduzierten Verbindungen während der physiologischen oder technologischen Weiterentwicklung oxidiert werden, desto weniger stehen sie dem Endverbraucher gesundheitsförderlich zur Verfügung. Deshalb sollten alle Produktions- und Verarbeitungsschritte auf die mögliche Schonung dieser elektronenreichen Verbindungen ausgerichtet sein. Die Redoxmessung liefert dabei einen summarischen Überblick über den aktuellen Stand der Fließgleichgewichte der Redoxprozesse und einen rechnerischen Einblick in die jeweiligen Reduktions-

kapazitäten und den thermodynamischen Ordnungsgrad (Hoffmann 1997).

## Was hat der Verbraucher von elektrochemisch optimierten Produkten?

Auf der Grundlage dieser elektrochemischen Zusammenhänge lassen sich die verschiedensten Untersuchungen zu Lebensmitteln durchführen. Sie haben sowohl produktionstechnische Relevanz als auch Konsequenzen für die menschliche Ernährung.

Am Beispiel von Apfelsaft werden die praktischen Konsequenzen elektrochemischer Messungen für den Verbraucher deutlich. Die Redox-Messungen der Apfelsaftproben (Abb. 2) zeigen, dass aufgrund nahezu gleichwertiger Rohwaren und vergleichbarer Technologien die Markensäfte qualitativ kaum differieren. Davon stark abgehoben sind Proben aus kleinen Vereins-Saftpressen mit handverlesener Rohware aus örtlichem Apfelangebot (Gemeinde Beyerberg), aus einheitlicher Rohware von Streuobstanbau nach festgelegten Sortier- und Lieferbedingungen des Bundes Naturschutz (Marke „Grünspecht“) oder aus Äpfeln privaten Anbaus.

Die große gesundheitliche Bedeutung dieser Ergebnisse für den Verbraucher zeigt sich darin, dass ein Unterschied im Redoxpotenzial von 18 Millivolt theoretisch bereits eine Verdoppelung/Halbierung des Elektronenangebots für den Körper bedeutet. Den elektrochemischen Stellenwert von Apfelsaft im Vergleich mit anderen Säften verdeutlicht Tabelle 1.

Die chemo-analytische Bewertung von Lebensmitteln gibt nur an, wieviel Energie bei vollständiger Verbrennung im Körper entsteht. Die ausschließliche Angabe dieses Wertes lässt jedoch ein wesentliches Merkmal der Lebensmittel unberücksichtigt: den Anteil der dem Körper zugeführten Energie, der für die Aufrechterhaltung der „Ordnung im Körper“ verantwortlich ist. „Unordnung“ bedeutet in diesem Zusammenhang Krankheit. Unterstellt man eine gleiche Elektronenmenge (in mol), ergeben sich bezüglich der einzelnen Apfelsaftqualitäten beachtliche Unterschiede.

Für die tägliche Ernährung gilt deshalb:

- saisonal und regional erzeugtes vollreifes Obst und Gemüse kaufen,
- schonend zubereiten,
- auf eine vielseitige „bunte“ Ernährung achten.

## Fazit

Wenn Gesundheit „Ordnung“ und Krankheit „Unordnung“ repräsentiert, wenn also bestimmte Erkrankungen durch gestörte Elektronentransfers im Organismus bedingt sind, dann ist es an der Zeit, sich über elektrochemische Merkmale in Lebensmitteln Gedanken zu machen und die traditionelle Qualitätsdiskussion diesbezüglich zu erweitern.

## Literatur:

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL): Bundesprogramm Öko-Landbau (z. Z. noch unveröffentlichter Forschungsbericht)

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL): Bewertung von Lebensmitteln verschiedener Produktionsverfahren, Statusbericht 2003, in: Angewandte Wissenschaft 499 (2003)

Hoffmann M (Hrsg.): Vom Lebendigen in Lebensmitteln – Die bioelektronischen Zusammenhänge zwischen Lebensmittelqualität, Ernährung und Gesundheit, SÖL-Ökologische Konzepte 91 (1997)

Kollath W: Regulatoren des Lebens. Vom Wesen der Redox-Systeme, Heidelberg (1978)

Lauda P: Optimaler Zellschutz durch Anti-Oxidantien Teil I und II, in: Nährstoffnews der Nährstoff-Akademie Salzburg 1 und 2 (2004)

Meier-Ploeger A, Vogtmann H (Hrsg.): Lebensmittelqualität – Ganzheitliche Methoden und Konzepte, Alternative Konzepte 66, SÖL (1991)

Roujan I: Theorie und Praxis der Bio-Elektronik VINCENT; Internationale Gesellschaft für Bio-Elektronik VINCENT (Hrsg.), Wenden Ottingen (1975)

Schormüller J: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Berlin (1974)

Schrödinger E: Was ist Leben?, München/Zürich (1989)

Steger-Hartmann T et al: Der Leitfähigkeitstest – Erfassung der Membrantoxizität, in: BIOforum 3, S. 51–54 (1995)

## Die Autoren

### Prof. Dr. Manfred Hoffmann

Jahrg. 38; ehemals Verfahrenstechniker an der FH Weihenstephan/Triesdorf, jahrelange Beschäftigung mit elektrochemischer Qualitätsforschung; Vizepräsident der Deutschen Gesellschaft für Umwelt- und Humantoxikologie e. V. (DGUHT)

Adresse: Haager Weg 8, 91746 Weidenbach, E-Mail: manfred.hoffmann@ngi.de

### Bernhard Staller

Jahrg. 51; Dipl. Physiker; ehemals Leiter einer Qualitätsabteilung der Fa. Siemens, Tätigkeiten am Wasserwirtschaftsamt und als Umweltsachverständiger; Geschäftsführer der Fa. EQC in Weidenbach

Adresse: Triesdorfer Straße 31a, 91746 Weidenbach, E-Mail: bstaller@t-online.de

Tabelle 1: Elektrochemischer Vergleich verschiedener Säfte (EQC)

Säfte	Probenzahl	Redoxpotenzial (mV)
Apfel-Holunder	2	325–379
Apfel	52	150–433
Bio-Shii-Take	1	217
Birnen	3	195–331
Gemüse	3	239–271
Mango	1	220
Möhren	4	266–323
Orangen	3	285–349
Rote Bete	5	211–257
Sauerkraut	3	241–268
Tomate	4	232–352
Trauben rot	2	287–352
Trauben weiß	2	399–413