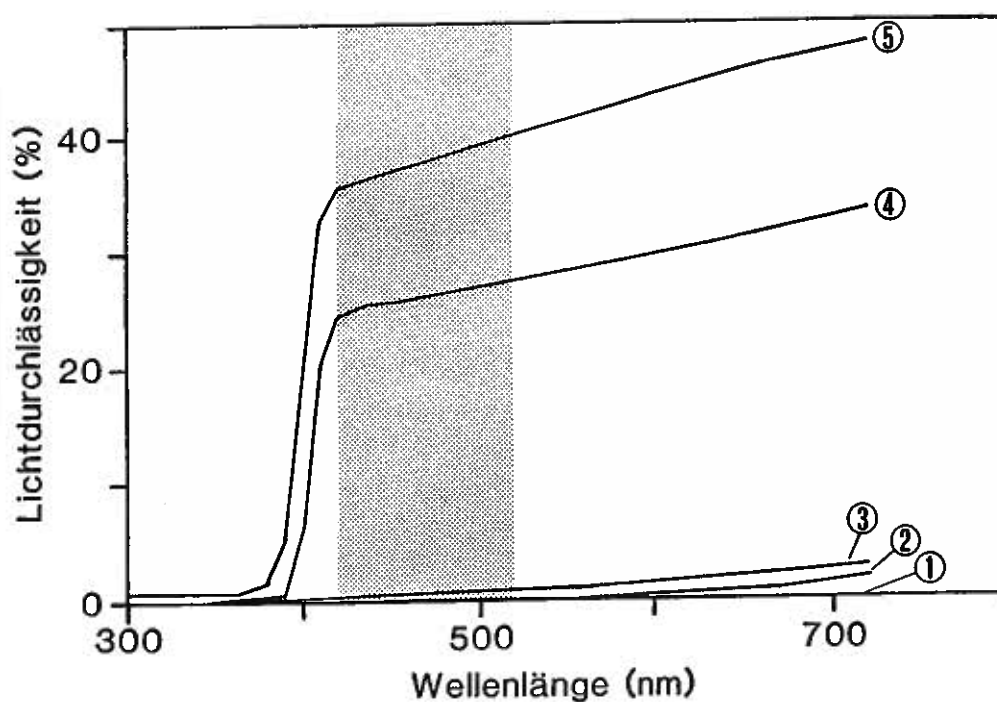


Mai 1993 / 259 P/W

Forschungsanstalt  
für Milchwirtschaft  
CH-3097 Liebefeld-Bern

## Milch und Milchprodukte sind lichtempfindlich

J.O. Bosset, P.U. Gallmann,  
R. Sieber



Durchlässigkeit von üblichen Verpackungsmaterialien für pasteurisierte Milch

**Die Auswirkungen des Lichtes auf Milch sind bei der Wahl der zu verwendenden Verpackung zu berücksichtigen. Licht kann Zusammensetzung, Merkmale und Eigenschaften von Milch nachhaltig verändern. Die sogenannten "inneren" Faktoren (z.B. verschiedene Inhaltsstoffe) sind gegeben und lassen sich nur in den wenigsten Fällen verändern. Dagegen kann mit Hilfe der "äusseren" Faktoren (z.B. Schutzfaktoren) der Einfluss des Lichtes auf ein Lebensmittel minimiert werden.**

Der Wechsel von Licht und Dunkel gehört entscheidend zur Ausgestaltung der heutigen Erde. Deshalb treten Lebensmittel auf dem Wege vom Produzenten zum Konsumenten mit dem Licht in Kontakt. Unter den Lebensmitteln sind auch Milch und Milchprodukte lichtempfindlich. Die Auswirkungen werden bei der gleichzeitigen Anwesenheit von gelöstem Sauerstoff noch verstärkt. Bereits Spuren davon genügen, um lichtbedingte Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen hervorzurufen. Dies ist je nach Produkt auf folgende Gründe zurückzuführen:

- relativ lange Expositions- und Lagerungsdauer (beispielsweise bis zu mehreren Monaten für Hartkäse),
- ungünstiges Verhältnis der exponierten Oberfläche zum Volumen des Produktes (z.B. für vorverpackte und geriebene Käse sowie Käsescheiben),
- je nach Produkt erhöhter Gehalt an freien Aminosäuren (Proteolyse) oder an ungesättigten Verbindungen (Fettsäuren im Milchfett),
- Tendenz zu immer dünnerwandigeren Verpackungen wegen Kosten, Gewicht und Abfallvolumen (z.B. bei Milch, Joghurt, frisch fermentierte Milchprodukte sowie Dessert auf Milchbasis),
- erhöhte Licht- oder/und Gasdurchlässigkeit der meistverwendeten Kunststoff-Verpackungen (z.B. Polystyrol, Polyethylen und Polyethylenterephthalat),
- Tendenz zu durchsichtigen Verpackungen, um das Füllgut appetitlicher und "natürlicher" erscheinen zu lassen,
- Tendenz zu immer stärker belichteten Vitrinen in den Verkaufsstellen (attraktivere Präsentation durch die Beleuchtung).

Bei der Betrachtung können innere, dem Produkt eigene, und äussere Faktoren unterschieden werden.

## **Innere Faktoren**

Die "inneren" Faktoren (Tabelle 1) sind im allgemeinen an die Zusammensetzung und die chemischen, chemisch-physikalischen und sogar mikrobiologischen

Tabelle 1. Zusammenfassung der wichtigsten, die Photooxidation von Milch und Milchprodukten beeinflussenden Faktoren:  
innere Faktoren

|                              | Innere Faktoren<br>(im allgemeinen gegeben)                                                                                                                                                              | lichtschützender Einfluss                                                                                                    | erhöhte Risikofaktoren                                                                                                                                                               |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ZUSAMMEN-<br/>SETZUNG</b> | Gehalt an Redox-Substanzen<br>Gehalt an Vitaminen<br>Gehalt an ungesättigten Fettsäuren<br>Gehalt an Fett<br>Gehalt an Schwermetallen<br>Gehalt an gelöstem Sauerstoff<br>Proteolyse (freie Aminosäuren) | Reduktionsmittel / Antioxidans<br>C (Ascorbinsäure)<br>- - - -<br>Photodiffusion<br>- - - -<br>reduzierende Flora<br>- - - - | (Pro)oxidans<br>B <sub>2</sub> (Riboflavin)<br>Bildung von Peroxiden<br>Grad der Ungesättigtheit<br>Katalyse (z.B. Cu <sup>++</sup> )<br>Synergie mit Licht<br>Bildung von Methional |
| <b>STRUKTUR</b>              | Dispergierte Partikel, Oberfläche<br>Eigenfarbe                                                                                                                                                          | kompakt, lichtstreuend<br>dunkel                                                                                             | lichtdurchlässig<br>farblos, klar                                                                                                                                                    |
| <b>VER-<br/>ARBEITUNG</b>    | thermische Behandlungen: z.B.<br>Pasteurisation, UHT usw.<br>mechanische Behandlungen: z.B.<br>Homogenisation                                                                                            | energiereich<br>→ -SH (= Reduktionsmittel)<br>unbekannt                                                                      | schonend<br>→ -S-S- (=Oxidationsmittel)<br>unbekannt                                                                                                                                 |

Eigenschaften des Produktes gebunden. Sie sind schwierig zu beeinflussen, ohne dass die Natur des Produktes selber verändert wird. Zu diesen Faktoren sind zu zählen: die allgemeine Zusammensetzung (z.B. Gehalt an natürlichen Oxidantien und Antioxidantien), der pH-Wert, das Redoxpotential, der Gehalt an gelöstem Sauerstoff, die Reflexions-, Absorptions- und Transmissionseigenschaften des Messgutes (siehe auch Struktur) sowie die angewendete technologische Behandlung (Homogenisation, Erhitzung mit der entsprechenden Bildung von reduzierenden Sulfhydrylgruppen bei höheren Temperaturen).

*Inhaltsstoffe:* Mehrere Inhaltsstoffe der Milch nehmen aktiv am Verlauf der lichtbedingten Veränderungen der Milch und Milchprodukte teil. Umgekehrt kann Licht auch auf die Inhaltsstoffe der Milch und Milchprodukte unterschiedliche Auswirkungen ausüben. In Tabelle 2 sind summarisch und vereinfacht einige der wichtigsten Wirkungen des Lichtes auf Milch und Milchprodukte zusammengestellt. Es handelt sich vorwiegend um Vitaminverluste, um Protein- und Fettabbau oder/und um Veränderungen mit nachfolgender Beeinträchtigung der Farben sowie des Aromas.

Unter den Vitaminen ist vor allem das Riboflavin sehr lichtempfindlich, aber auch die Vitamine A und C. Innerhalb des Wellenlängenbereiches von 350 bis 520 nm, der im allgemeinen kritisch ist, wird das Riboflavin vor allem durch die Wellenlängen zwischen 415 und 455 nm geschädigt. Vitamin A und sein Vorläufer  $\beta$ -Carotin sind sehr lichtempfindlich. So kann sich beispielsweise der Vitamin-A-Gehalt nach 6 Stunden Beleuchtung um etwa die Hälfte verringern. Dabei zeigte sich eine Abhängigkeit der  $\beta$ -Carotin- und Vitamin-A-Verluste von der Wellenlänge:  $\beta$ -Carotin wurde mit Wellenlängen unter 465 nm und Vitamin A mit solchen unter 415 nm, aber weniger zwischen 415 und 455 nm zerstört. Die Konzentration anderer Vitamine der Milch wie Folsäure, Vitamin B<sub>6</sub> und Vitamin B<sub>12</sub> kann durch Lichteinwirkung vermindert werden.

*Struktur:* Die Feinstruktur der Lebensmittel spielt eine wichtige Rolle für deren Lichtempfindlichkeit, da sie zum grössten Teil die Eindringtiefe des Lichtes in das Produkt bestimmt. Dünnflüssige, lichtdurchlässige Produkte wie Molke oder Magermilch absorbieren bedeutend mehr Energie und sind deswegen bedeutend stärker dem "Photoabbau" ausgesetzt als opake, weisse, feste oder pastöse Produkte wie Hartkäse. Dazwischen liegen die flüssigen, hoch- oder mittel-lichtstreuenden Produkte wie Milch, Joghurt oder Rahm, die die einfallende Lichtenergie teilweise absorbieren und reflektieren. Das Verhältnis der Lichtabsorption zur -reflexion ist von zahlreichen Parametern abhängig, unter anderem von der Form, der Grösse, der Anzahl, der

Dichte, der Farbe und vom relativen Brechungsindex der lichtstreuenden Fett- und Eiweiss-Partikel.

Tabelle 2. Zusammenfassung der wichtigsten Wirkungen des Lichtes auf Milch und Milchprodukte

| Gruppe       | Bestandteil             | Verhalten/Resultat                                                            |        |
|--------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
| VITAMINE     | Vitamin A               | lichtempfindlich < 415 nm                                                     |        |
|              | $\beta$ -Carotin        | lichtempfindlich < 465 nm                                                     |        |
|              | Vitamin B <sub>1</sub>  | wenig lichtempfindlich                                                        |        |
|              | Vitamin B <sub>2</sub>  | sehr lichtempfindlich (350 - 520 nm) +<br>Photosensibilisator                 |        |
|              | Vitamin B <sub>6</sub>  | lichtempfindlich                                                              |        |
|              | Vitamin B <sub>12</sub> | lichtempfindlich                                                              |        |
|              | Vitamin C               | sehr lichtempfindlich (vor allem in Ge-<br>genwart von Sauerstoff und Kupfer) |        |
|              | Vitamin D               | Anreicherung                                                                  |        |
|              | Vitamin E               | lichtempfindlich                                                              |        |
|              | Vitamin K               | lichtempfindlich                                                              |        |
| PROTEINE     | $\alpha$ -Laktalbumin   | Zusammenlagerung von Molekülen                                                | A      |
|              | $\beta$ -Laktoglobulin  | + Hydrolyse der Peptidbindungen                                               | R      |
|              | Immunoglobuline         |                                                                               | O      |
| AMINOSÄUREN  | Methionin               | Bildung von Methional                                                         | M      |
|              | Tryptophan              | Bildung von Kynurenin, N-Formylkynu-<br>rein                                  | A<br>- |
|              | Cystein + Cystin        | Bildung von Schwefelprodukten                                                 | F      |
|              | Histidin                | → unbekannt                                                                   | E      |
|              | Tyrosin                 | → unbekannt                                                                   | H<br>L |
|              |                         |                                                                               |        |
| FETT         | unges.Fettsäuren        | → Peroxide                                                                    | E      |
| FLÜCHTIGE    |                         | → Methional, Schwefelverbindungen                                             | R      |
| VERBINDUNGEN |                         | → Carbonylverbindungen                                                        |        |
| FARBE        | L nach HUNTER           | nimmt ab (= weniger glänzend)                                                 | ENT-   |
|              | a nach HUNTER           | steigt an (= weniger grün)                                                    | FÄR-   |
|              | b nach HUNTER           | nimmt ab (= weniger gelb)                                                     | BUNG   |

**Verarbeitung:** Der Einsatz einer Prozesstechnik bzw. die Festlegung eines technologischen "Operation Procedure" hat unter Umständen auch die spezifische Lichtempfindlichkeit des Produktes bzw. seine Exposition zu berücksichtigen. Insbesondere Veränderungen im Gehalt an reduzierenden bzw. oxidierenden Substanzen (Redox-System) dürften einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Abbau- oder Zersetzungsprodukte der lichtinduzierten Reaktionen haben.

Allgemein kann ausgesagt werden, dass die thermische Behandlung und die Exposition gegenüber dem Licht, vor allem in Anwesenheit von Sauerstoff, gegensätzliche Auswirkungen haben. Die Erhitzung erhöht vor allem im Temperaturbereich von 70 bis 90 °C das reduzierende Potential des Milieus, indem das Gleichgewicht der verschiedenen schwefelhaltigen Verbindungen verschoben wird, während die Lichtexposition über das Riboflavin Oxidationsreaktionen induziert. Solche Überlegungen müssen bei der Wahl der Verpackung berücksichtigt werden. Die mechanischen Behandlungen wie die Homogenisierung des MilCHFettes spielen ebenfalls eine Rolle, die jedoch wegen ihrer Komplexität schwieriger darzustellen ist. Sie greifen vor allem auf dem Niveau der Photodiffusion (siehe Struktur) des Produktes an, bedingt durch verschiedene strukturelle Veränderungen (Vergrößerung der Oberfläche der Fettkügelchen, Bildung von Proteinkomplexen usw.).

## Äussere Faktoren

Während bei den inneren Faktoren mit Ausnahme der technologischen Behandlung nur geringe Einflussmöglichkeiten bestehen, können Lebensmittelhersteller, -verteiler wie auch die Konsumenten über die sogenannten äusseren Faktoren die Lichtempfindlichkeit eines Lebensmittels über die Wahl schonender Verarbeitungs- und Lagerungsbedingungen beeinflussen, wobei diese Faktoren im allgemeinen optimal und dem Produkt entsprechend gewählt werden können. Zu diesen äusseren Faktoren (siehe Tabelle 3) gehören hauptsächlich:

- das Spektrum, die Intensität und die Dauer des einwirkenden Lichtes,
- die Licht- und Sauerstoffdurchlässigkeit des Verpackungsmaterials,
- die Lagerungstemperatur des Produktes.

**Lichtquelle:** Sichtbares Licht liegt im Wellenlängenbereich von 380 bis 700 nm und ultraviolettes (UV) Licht zwischen 200 und 380 nm. Das Licht im UV-Bereich ist zwar in bezug auf photoinduzierende Reaktionen energiereicher. Dieser Teil des Spektrums wird aber eventuell mit Ausnahme von einigen hochintensiven

Tabelle 3. Zusammenfassung der wichtigsten, die Photooxidation von Milch und Milchprodukten beeinflussenden Faktoren: äussere Faktoren

|            | äussere Faktoren<br>(zu berücksichtigen)                                                                                           | lichtschützender Einfluss                                                          | erhöhte<br>Risikofaktoren                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| QUELLE     | UV-Spektrum ( $\lambda < 350 \text{ nm}$ )<br>Sonnenlicht<br>künstliches Licht<br>Beleuchtungsstärke<br>Dauer der Lichtexposition  | Undurchlässigkeit der Leuchtröhren<br>-----<br>"warm-weiss"<br>schwach<br>kurz     | -----<br>hohe Energie<br>"kalt-weiss"<br>stark<br>verlängert   |
| GEOMETRIE  | Distanz zur Lichtquelle<br>Präsentation der Produkte<br>eventuelle Hilfsmittel                                                     | entfernt<br>gestapelt<br>Harass, Korb                                              | nah<br>zerstreut<br>-----                                      |
| VERPACKUNG | Lichtdurchlässigkeit des Materials<br>- durch Färbung<br>- durch Pigmentierung<br>Dicke des Materials<br>Sauerstoffdurchlässigkeit | schwach / gering<br>braun-rot<br>trübe / lichtstreuend<br>dick<br>schwach / gering | gross<br>blau-grün<br>lichtdurchlässig<br>(hauch)dünn<br>stark |
| LAGERUNG   | Temperatur (Sauerstofflöslichkeit)<br>" (Aktivierungsenergie )<br>Dauer (Verfalldatum)                                             | hoch / warm<br>tief / kalt<br>kurz                                                 | tief / kalt<br>hoch / warm<br>verlängert                       |

Spektrallinien des in den Fluoreszenzröhren vorhandenen Quecksilbers von der Verpackung (Glas, Polystyren, Polyethylen, Polyethylenterephthalat) praktisch vollständig absorbiert. Dies wird als "cut-off" des Verpackungsmaterials bezeichnet. Deshalb schafft vor allem der Beginn des sichtbaren Spektrums (360 bis 510 nm) grosse Probleme, besonders bei Anwesenheit von Riboflavin.

Das Emissionsspektrum des Sonnenlichtes (natürliches Licht) ist sehr breit, homogen und reich an hohen Energien, sowohl im ultravioletten wie auch im sichtbaren Bereich. In bezug auf deren Photoabbau sollten deshalb Milch und Milchprodukte niemals, und sei es auch nur einige Minuten, dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt werden.

Die Fluoreszenzröhren senden ein polychromatisches Licht (weiss) aus und lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

- die sogenannten "weisswarmen" Fluoreszenzröhren, die vor allem im gelben, orangen, roten und nur schwach im violetten, blauen und grünen Bereich emittieren,
- die sogenannten "kaltweissen" Fluoreszenzröhren, die im blau-grünen Bereich energiereich sind.

Wegen ihrer energiereichen Emission wird von einer Verwendung der "kaltweissen" Fluoreszenzröhren für die Beleuchtung von Schaufenstern, Vitrinen und Lagerräumen, die für photoempfindliche Lebensmittel und besonders für Milchprodukte vorgesehen sind, abgeraten. Aus diesen Gründen muss bei der Lagerung, wenn immer möglich, eine Lichtquelle ausgesucht werden, die arm an blauen und grünen Farbtönen (350-550 nm) ist, um so eine Emission im Spektralbereich der dritten Absorptionsbande des Riboflavins ( $\lambda_{\max}$  bei ungefähr 444 nm) zu verhindern. Darum ist energiearmen Fluoreszenzröhren der Vorzug zu geben. Für Joghurt ist beispielsweise eine Beleuchtung der Vitrinen mit weisswarmem Licht (gelb-rot) anstelle von weisskaltem Licht (blau-grün) zu empfehlen.

In Vitrinen, in denen Milch und Milchprodukte dem Konsumenten angeboten werden, unterliegen diese Lebensmittel Beleuchtungsstärken von 400 bis 4000 Lux (Mittelwert 2000 Lux). Um eine übermässige Belichtung zu vermeiden, ist eine minimale Beleuchtungsstärke zu wählen. Dies kann durch verschiedene Massnahmen verwirklicht werden wie Distanz zur Lichtquelle (indem die Produkte so weit wie möglich von der Lichtquelle entfernt gelagert werden, da die Lichtenergie im Quadrat der Entfernung abnimmt), Orientierung des Produktes, Stapelung, Verwendung von optischen Hindernissen. Schliesslich sollte die Dauer der Lichteinwirkung

so kurz wie möglich sein. Dies kann durch eine Aufbewahrung im Dunkeln sowie durch die Verwendung von Timern in den Vitrinen erreicht werden.

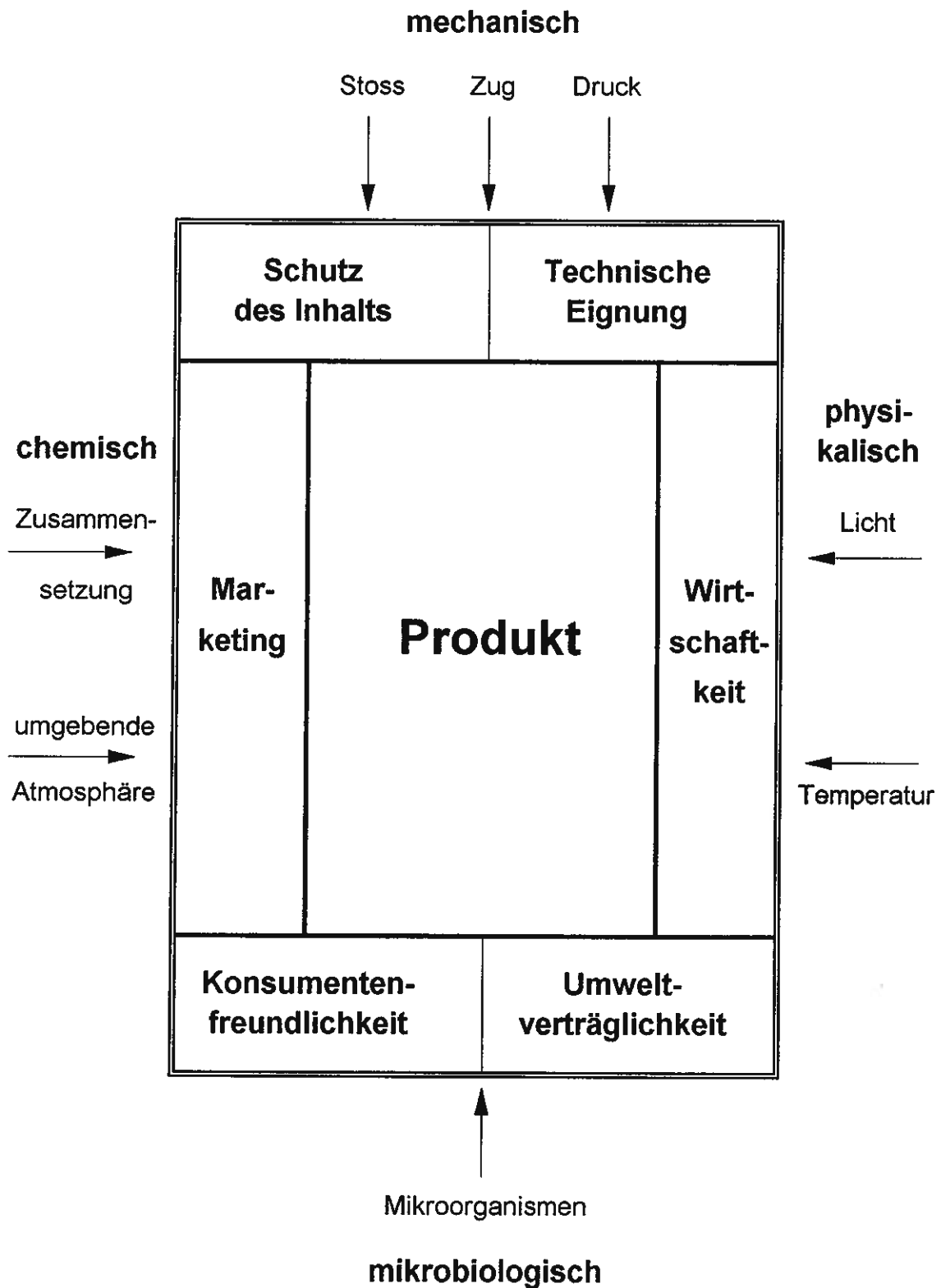
*Verpackung:* Die Verpackung hat verschiedene Funktionen auszuüben. Das verpackte Gut muss vor qualitätsmindernden chemischen, biochemischen, physikalisch-chemischen, bakteriologischen oder mechanischen Einflüssen geschützt werden (Abbildung 1). Zusätzlich hat die Verpackung noch andere Funktionen wie beispielsweise die Füllgutaufnahme und die Produkteinformation (Blickfang, Werbung) auszuüben. Unter diesen Funktionen ist der Schutz der Lebensmittel gegenüber Licht vor allem während der Lagerung und dem Vertrieb sehr wichtig.

Hinsichtlich Lichtdurchlässigkeit der Verpackung bleibt das Ideal eine opake oder eine stark lichtstreuende Verpackung, welche die Energieübertragung ins Innere des Produktes begrenzt. Solche Packungen würden aber die oft erwünschte Sichtdurchlässigkeit (Attraktivität des Produktes für den Konsumenten) verhindern und wären auch meistens mit höheren Kosten verbunden (z.B. innere Alu-Beschichtung oder "K3"-Joghurtbecher). Wenn eine gewisse Transparenz jedoch erwünscht wird, ist eine rotbraune Färbung (komplementäre Farbe von blau-grün) der Verpackung zu bevorzugen, um die Lichtabsorption durch das Riboflavin (Vitamin B<sub>2</sub>) als Photosensibilisator zu minimieren.

Um endgültig ein optimales Verpackungsmaterial auszuwählen, sind noch andere Elemente wie Verarbeitungseigenschaften, mechanische und funktionelle Eigenschaften, aber auch Fragen der Ökologie (Recycling, Eliminierung) und Toxikologie (Kontamination, Migration) zu berücksichtigen (Abbildung 1). Dabei müssten auch ungünstigere Verarbeitungseigenschaften der Packstoffe oder andere Funktionsnachteile in Kauf genommen werden. Wegen der verschiedenen Einflussfaktoren kann der erforderliche Mindestschutz nur durch praxisnahe Versuche ermittelt werden. Dies hat sich in den Versuchen an Joghurt nature und Joghurt mit verschiedenen Zutaten deutlich gezeigt. Die mit Joghurt nature erhaltenen Resultate liessen sich nicht ohne weiteres auf andere Joghurtsorten übertragen. Mokka- und Schokoladejoghurt erwiesen sich hingegen als viel weniger lichtempfindlich und damit auch als weniger schutzbedürftig.

Um lichtinduzierte Veränderungen in Milch zu vermeiden, kann anstelle einer braun-roten Einfärbung die Verpackung auch mit einer Lichtschränke versehen werden, was in der Schweiz bei der Einführung des Schlauchbeutels für pasteurisierte Milch, der in der Schweiz im Jahre 1990 zur Anwendung gelangte, unterlassen und erst später nachgeholt wurde. Denn dieser hatte einen bedeutenden Nachteil. Durch seinen ungenügenden Lichtschutz wurden in der Milch unter anderem Vitamin C und

Abbildung 1. Anforderungsprofil an und Einflüsse auf die Verpackung und das Füllgut



teilweise auch Vitamin B<sub>2</sub> zerstört. Auch kam es rasch zu sensorisch feststellbaren Qualitätsmängeln, wie dies Eberhard und Gallmann im Jahre 1991 in dieser Zeitung (Nr. 26, S. 3) beschrieben haben.

*Temperatur:* Die Temperatur beeinflusst die Kinetik der chemischen Reaktionen. Deshalb muss sie während der Lagerung so tief wie möglich gehalten werden, um die Geschwindigkeit der Zersetzungsreaktionen zu verlangsamen. Bei den tiefen Temperaturen ist jedoch die Löslichkeit des Sauerstoffs im Produkt erhöht. Dies kann mit der Wahl einer wenig sauerstoffdurchlässigen Verpackung ausgeglichen werden. Im weiteren ist zu beachten, dass in lichtundurchlässigen Flaschen wie beispielsweise in braunen Glasflaschen unter Einwirkung von Sonnenlicht eine Temperaturerhöhung festgestellt wurde.

## **Schlussfolgerung**

Wenn es kaum möglich ist, die Lichtempfindlichkeit der Milch und Milchprodukte zu beeinflussen, ohne solche Produkte in ihrem ursprünglichen Zustand zu verändern, so können doch einige einfache und praxisbezogene Massnahmen getroffen werden, um diese ernährungsphysiologisch wertvollen Lebensmittel gegen die Lichtwirkung zu schützen. Diese betreffen vor allem die Wahl der Lichtquelle, das verwendete Material der Verpackung und die angewendeten Lagerungsbedingungen.

NB. Eine ausführliche Beschreibung zu diesem Thema wird unter dem Titel "Einfluss der Lichtdurchlässigkeit der Verpackung auf die Haltbarkeit von Milch und Milchprodukten" im Verlaufe dieses Jahres in den Mitteilungen auf dem Gebiete der Lebensmittelhygiene erscheinen und dann als FAM-Info verfügbar sein.