

Forschungsbericht

Nr. 107

Weiterentwicklung von Methoden zur Überprüfung der
Einhaltung der Kühlkette bei frischen Lebensmitteln

Verfasser:

Judith Kreyenschmidt, Nicole Peters, Brigitte Petersen und Benno Kunz

**Institut für Physiologie, Biochemie und Hygiene der Tiere
und
Institut für Lebensmitteltechnologie und -biotechnologie**

Herausgeber: Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Endenicher Allee 15, 53115 Bonn
Tel.: 0228 – 73 2297; Fax.: 0228 – 73 1776
www.usl.uni-bonn.de

Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Bonn, August 2003

ISSN 1610-2460

Projektleitung: Prof. Dr. Brigitte Petersen
Prof. Dr. Benno Kunz

Projektbearbeiter: Dipl. Ing. Judith Kreyenschmidt
Dr. Nicole Peters

Institut für Physiologie, Biochemie und Hygiene der Tiere
Katzenburgweg 7-9
D-53115 Bonn
Tel.: 0228/73 2804/19
Fax: 0228/73 7938

Institut für Lebensmitteltechnologie
Römerstraße 164
D-53117 Bonn
Tel.: 0228/73 4459
Fax: 0228/73 4429

Zitiervorschlag:

KREYENSCHMIDT, J., N. PETERS, B. PETERSEN UND B. KUNZ (2003): Weiterentwicklung von Methoden zur Überprüfung der Einhaltung der Kühlkette bei frischen Lebensmitteln. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, 107, 64 Seiten.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung/Wissenstand	1
1.1.1 Die Wertschöpfungskette vom Erzeuger bis zum Verbraucher	2
1.1.2 Parameter zur Charakterisierung des Frischezustandes von Fleisch	4
1.1.3 Einflussfaktoren auf die Haltbarkeit	9
1.1.4 Prinzipien der Modellierung des Frischeverlustes	12
1.1.5 Anwendung von Zeit-Temperatur-Integratoren	15
1.2 Zielsetzung	20
2 Material und Methoden	21
2.1. Probenmaterial	21
2.2 Probenvorbereitung und -untersuchung	21
2.2.1 Mikrobiologische Untersuchung	23
2.2.2 Sensorische Untersuchung	25
2.2.3 Physikalische Untersuchung zur Erfassung des Entfärbeverhaltens der Zeit-Temperatur-Integratoren	26
2.3 Statistische Auswertung	27
3 Ergebnisse und Diskussion	28
3.1 Verlauf von Temperaturspektren in Kühllhäusern	28
3.2 Ergebnisse zum Entfärbeverhalten der Temperatur-Zeit-Integratoren	31
3.2.1 Verfärbeverhalten von Zeit-Temperatur-Integratoren in Abhängigkeit von der Aufladezeit	31
3.2.2 Vergleich der gemessenen TTI-Farbwerte mit den Simulationswerten unter Berücksichtigung verschiedener Aufladezeiten	31
3.3 Ergebnisse zur Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien	34
3.3.1 Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit bei Schweinefleisch	34
3.3.2 Vergleich der gemessenen produktspezifischen Untersuchungskriterien mit den Simulationswerten bei Schweinefleisch	35
3.3.3 Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit bei Geflügelfleisch	37
3.3.4 Vergleich der gemessenen produktspezifischen Untersuchungskriterien mit den Simulationswerten bei Geflügelfleisch	39
3.4 Vergleichsuntersuchungen zwischen Verfärbung der Indikatoren und produktspezifischen Untersuchungskriterien	42
4. Zusammenfassung	44

5.	Schlussfolgerungen für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis	46
6.	Literaturverzeichnis	47
7.	Anhang	56
8.	Konsequenzen für evtl. weitere Forschungsaktivitäten	58
9.	Mitteilung über evtl. schützenswerte Nutzungsrechte	59
10.	Liste über Veröffentlichungen	59
11	Liste über Vorträge	60
12.	Liste über Pressemitteilungen	60
13	Liste über Posterpräsentationen, Vorführungen und Demonstrationen	62
14.	Kurzfassung	62

1 Einleitung

1.1 Problemstellung/Wissensstand

Aufgrund seiner chemischen und physikalischen Zusammensetzung ist Fleisch ein idealer Nährboden für Mikroorganismen, deshalb leicht verderblich und häufig an Lebensmittelvergiftungen beteiligt (KRÄMER, 1997). Die Qualität und Sicherheit dieses Lebensmittels möglichst lange zu erhalten ist eines der Hauptziele der Lebensmittelproduzenten bzw. -handels. Ein wichtiges Instrumentarium dabei ist das sogenannte TTT-Konzept (Time-Temperature Tolerance), welches sich die Beziehung zwischen Lagertemperatur und Haltbarkeit zu Nutze macht, d. h. je niedriger die Temperatur, desto länger ist die Haltbarkeit (GEORGE, 2000). Sehr häufig kommt es jedoch nicht nur beim Transport, sondern auch bei der Lagerung der Produkte in der gesamten Wertschöpfungskette zu einer Überschreitung der vorgeschriebenen Lagertemperatur, was zu beschleunigten mikrobiellen und biochemischen Zersetzungsprozessen führt. Dadurch wird die Haltbarkeit des Lebensmittels reduziert und das Risiko möglicher gesundheitlicher Gefahren für den Verbraucher stark erhöht (BEM, HECHELMANN, 1994; PETERSEN, KUNZ, 2001). Um die Qualität der Lebensmittel zu garantieren, ist somit die Einhaltung vorgegebener Temperaturen innerhalb der Produktions- und Distributionskette eine notwendige Voraussetzung (LABUZA, FU, 1995; TAOUKIS et al., 1991, BgVV, 1999). Zeit-Temperatur-Integratoren können als eine einfache, billige und leicht handhabbare Möglichkeit angesehen werden, den Temperaturverlauf unter dem das Produkt gelagert wurde, zu dokumentieren. Hierfür müssen sie in einer geeigneten Weise der Verpackung des Produkt beigefügt werden. Im Rahmen eines verbesserten Verbraucherschutzes kann so durch TTI's, auf jeder Stufe der Distribution, die Einhaltung der Kühlkette produktbegleitend dokumentiert und kontrolliert werden.

Eine Voraussetzung für die Anwendung von Zeit-Temperatur-Integratoren als eine produktbegleitende Kontrolle des Lebensmittels während der gesamten Wertschöpfungskette, ist jedoch mit einer genauen Untersuchung des kinetischen Verhaltens sowohl der Integratoren als auch der Lebensmittel, denen sie beigefügt werden, verbunden (TAOUKIS, LABUZA, 1997). Der Frischeverlust des Lebensmittels sowie die Farbänderungen der Integratoren, ist in der Regel anhand eines sich mit der Zeit verändernden charakteristischen „Qualitätsparameter“ messbar. Die Abhängigkeit dieser sogenannten Qualitätsparameter von der Temperatur kann durch verschiedene Modelle berechnet werden, wie z. B. Arrhenius- oder Square-root-Modell (ZARITZKY et al., 1997; WHITING, 1995). Durch mathematische Modellierung lassen sich die beiden zunächst unabhängigen Systeme (Fleisch – Indikator) miteinander korrelieren. Notwendig sind dazu jedoch Zeitreihenmessungen zu dem Verhalten des „Qualitätsparameters“ des Lebensmittels sowie des Indikators unter verschiedenen Temperaturbedingungen. Durch die

Auswertung und die Berechnung der Daten mit Hilfe der unterschiedlichen mathematischen Modelle kann die Eignung des Indikators für eine produktbegleitende Kontrolle ermittelt werden (KREYENSCMIDT et al., 2002; KOUTSOUMANIS et al., 2000; TAOUKIS, LABUZA, 1997; TSOKA et al., 1998). Die hierzu notwendigen Daten stehen aus einem bereits abgeschlossenen Vorhaben zur Verfügung und stellen die Grundlage für ein Simulationsmodell dar. Aufbauend auf diesen Ergebnissen ist eine Validierung des Simulationsmodells unter Praxisbedingungen in der Kühlkette eines fleischverarbeitenden Unternehmens vorgesehen. Die aus diesen Studien gewonnenen Daten gehen als Vergleichsgrößen, ebenso wie die Ergebnisse aus den Zeitreihenmessungen unter Laborbedingungen in das Simulationsmodell ein.

1.1.1 Die Wertschöpfungskette vom Erzeuger bis zum Verbraucher

Damit am Ende der Wertschöpfungskette jedoch ein qualitativ hochwertiges Produkt steht, ist ein sorgfältiger Umgang mit den Produkten vom Erzeuger bis zum Verbraucher erforderlich. Sorgfältiger Umgang bedeutet, neben der hygienischen Fleischgewinnung, vor allem die Einhaltung der entsprechenden Produkttemperaturen (BRUNNHUBER, 1997; HILBERT, SMULDERS, 2000). Die optimale Lagertemperatur von Fleisch liegt nahe am Gefrierpunkt von $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Im Temperaturbereich zwischen $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kann jedes Grad Überschreitung dieser optimalen Temperatur, die Lagerfähigkeit um 10 % verkürzen (MOJE, 1999). Laut FIHV (Anl. 2 Kap. IX Nr. 1.1.1, 1.1.2 u. 3) soll die Kerntemperatur von Frischfleisch 24 Stunden nach der Schlachtung unter 7°C liegen. Die Geflügelfleischhygiene-Verordnung (Anl. 2. Kap. IX, Nr.1) schreibt eine Temperatur von 4°C bis zur Abgabe an den Verbraucher vor (BgVV, 1999).

Weiterhin existieren einschlägige Rechtsnormen, Transport und Kühlung betreffend. Demnach darf in frischem Fleisch, das für den innergemeinschaftlichen Handelsverkehr bestimmt ist, die Innentemperatur des Tierkörpers 7°C nicht übersteigen (BEM, HECHELMANN, 1994).

Durch die zunehmende Globalisierung der Märkte und den damit verbundenen immer länger werdenden Transportwegen, gewinnt die Kontrolle der Kühlkette im Rahmen des Verbraucherschutzes einen immer größeren Stellenwert (KREYENSCMIDT et al., 2002).

So besteht die Kühlkette aus vielen einzelnen Gliedern und je mehr Glieder in dieser Kühlkette vorhanden sind, desto mehr Schwachstellen entstehen. Als Schwachstellen innerhalb der Kühlkette sind insbesondere die Schnittstellen zwischen den einzelnen Beteiligten der food chain zu lokalisieren. Das heißt, jeweils dort, wo die Ware den Ort bzw. den Besitzer wechselt, besteht verstärkt die Gefahr einer Unterbrechung der Kühlkette (BRUNNHUBER, 1997; SCHILLINGS-SCHMITZ, 2002).

Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Warenfluss bzw. Schnittstellen in der fleischerzeugenden Kette.

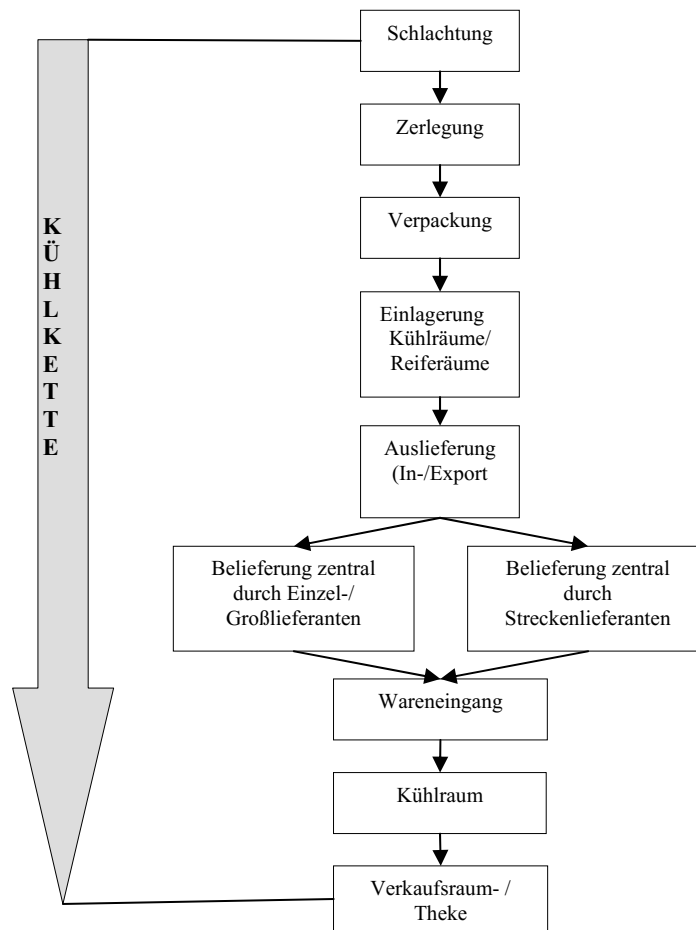


Abb.1: Warenfluss in der fleischerzeugenden Kette

BRUNNHUBER (1997) weist weiterhin darauf hin, dass auch das Kühlhaus beim Erzeuger, die Lagerung in Verkaufskühlmöbeln sowie der Transport Schwachpunkte hinsichtlich der Temperatureinhaltung in der fleischerzeugenden Kette sind. Durch die Gesamtsumme kleiner Unterbrechungen der Kühlkette kommt es schnell zu einer frühzeitigen Qualitätsbeeinträchtigung. Um diese Unterbrechungen zu vermeiden, hat das EHI eine Branchenempfehlung für kühlpflichtige und leichtverderbliche Fleisch- und Wurstwaren im Juni 2000 veröffentlicht. Inhalt ist dabei u. a. die Forderung, dass die Regelanlieferetemperatur 1°C bzw. 2°C (Strecken- oder Lagergeschäft) unterhalb der geforderten Temperaturobergrenze liegt, um somit einen zusätzlichen Kältepuffer für kurze Zeiten ohne aktive oder passive Kühlmöglichkeiten der Ware zu überbrücken (MÖLLER, 2000; SCHILLINGS-SCHMITZ, 2002).

Wünschenswert wäre in diesem Zusammenhang eine lückenlose Temperaturüberwachung des Produktes vom Erzeuger bis hin zur Verkaufskühltruhe und die Nachvollziehbarkeit für den Verbraucher. Derzeit erfolgt die Temperaturüberwachung am Produkt nur stichprobenhaft durch Flüssigkeits-, Digital- oder Kontaktthermometer sowie mit Strahlungsmessgeräten. Eine Möglichkeit zur kontinuierlichen Temperaturüberwachung sind elektronische Datenlogger. Nachteilig bei diesen Loggern, sind neben den hohen Anschaffungskosten, dass dadurch die Lufttemperatur gemessen wird, diese stimmt jedoch in den wenigsten Fällen mit der Produkttemperatur überein (BRUNNHUBER, 1997). Zusätzlich ist in den letzten Jahren in diesem Bereich die Entwicklung von Telematik-Systemen erheblich vorangeschritten. Abgesehen davon, dass auch bei diesen Systemen nicht die Produkt- sondern die Umgebungsluft kontrolliert wird, werden bisher nur für den Transport eingesetzt (JÖCKEL, 2002). Eine einfache und preisgünstige Möglichkeit für eine lückenlose Temperaturüberwachung sind Zeit-Temperatur-Integratoren. (TAOUKIS et al., 1991; LABUZA, FU, 1995; GAUKEL, 2002). Diese werden auf die Verpackung aufgebracht, und zeigen durch eine Farbskala die Historie des Produktes an, dadurch wird eine produktbegleitende Kontrolle des Lebensmittels ermöglicht werden (GAUKEL, 2002; KREYENSCHMIDT et al., 2002; LETTMANN et al., 2003).

1.1.2 Parameter und Messverfahren zur Charakterisierung des Frischezustandes von Fleisch

Im Zusammenhang mit Lebensmitteln bezeichnet der Begriff „Frische“ vor allem den Zustand des Geradehergestellten, Nichtaltgewordenen und daher Unverdorbenen (PICHNER, 1999).

Der Frischezustand ist dabei bei den einzelnen Lebensmitteln veränderlich und durchläuft verschiedene Entwicklungsstufen. Diesbezüglich werden die Begriffe „Frischegrad“ und „Frischestadium“ zur Beschreibung der Zustände verwendet (TÄUFEL et al., 1993).

Um die Frische bzw. den Frischegrad zu beurteilen, wird seit Jahren nach objektiven, schnellen Untersuchungsparametern für die Beurteilung gesucht. Von diesen Parametern wird verlangt, dass sie relativ schnell durchführbar, praktikabel und sowohl in frischem Zustand des Fleisches als auch während der verschiedenen Verderbsstadien gut reproduzierbar sind (PICHNER, 1999). Nach PICHNER (1999) existiert bisher im Fleischbereich noch kein Parameter, der alleine ausreicht, den oben genannten Anforderungskriterien gerecht zu werden. Jedoch haben mehrere Autoren die Kombination mikrobiologischer, chemischer und sensorischer Untersuchungsparameter als Vorgehensweise zur Beurteilung des Frischegrades von Fleisch beschrieben. Für Frischfleisch ist insbesondere das mikrobielle Wachstum und

die Fleischfarbe ein guter Parameter (LABUZA, FU, 1995; KREYENSCHMIDT et al., 2002 a/b).

Mikrobiologische Parameter

Nach ihrer Fähigkeit zur Gesundheitsschädigung oder Haltbarkeitsverminderung werden zwei Hauptgruppen unterschieden: Pathogene und lebensmittelverderbende Mikroorganismen. Während pathogene Keime Lebensmittelinfektionen bzw. –intoxikationen hervorrufen können, werden von der Verderbsflora eher Stoffwechselprodukte gebildet, die das Fleisch für den Konsumenten abstoßend wirken lassen (GILL, 1983; UPMANN et. al., 2000).

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Verderbsflora und die pathogenen Keimen, die bei verpacktem und unverpacktem Frischfleisch relevant sind.

Tab. 1: Häufig vorkommende Mikroorganismen bei Frischfleisch
(Quelle: BAUMGART, 1999)

Art der Verpackung	Vorherrschende Mikroorganismen
Verderbsflora bei nicht vakuumverpacktem Fleisch	<i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i> , <i>Brochothrix thermosphacta</i> , Arten der Genera <i>Aeromonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Moraxella</i> , <i>Psychrobacter</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Carnobacterium</i> , <i>Leuconostoc</i> Dominierende Mikroorganismen: <i>Pseudomonas</i> und <i>Enterobacteriaceen</i>
Verderbsflora bei vakuumverpacktem Fleisch (Schutzgas)	In Abhängigkeit vom Vakuum und der Sauerstoffdurchlässigkeit der Folie sowie der Konzentration von CO ₂ : <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i> (keine anerobe Vermehrung bei pH < 6,0) <i>Brochothrix thermosphacta</i> (keine anerobe Vermehrung bei pH < 5,8), Arten der Genera <i>Pseudomonas</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Carnobacterium</i> und <i>Leuconostoc</i> Dominierende Mikroorganismen: <i>Lactobacillen</i> und <i>Brochothrix thermosphacta</i>
Pathogene und Toxinogene Bakterien im vakuumverpackten und nicht verpacktem Fleisch	<i>Salmonella</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Bacillus cereus</i> , enteroviolente <i>E. coli</i> , <i>Clostridium perfringens</i>

Bei Kühlung und unter aeroben Bedingungen setzt der Verderb vorwiegend an der Fleischoberfläche ein und wird hauptsächlich, wie in Tabelle 1 beschrieben, durch psychrotrophe gramnegative Bakterien verursacht. Neben Vertretern der *Acinetobacter-*

Moraxella-Gruppe, *Aeromonas* und *Alteromonas putrefaciens*, dominieren vor allem Pseudomonaden (*P. fluorescens*, *P. fragi* und *P. putida*). Ihnen kommt aufgrund ihrer starken proteolytischen Eigenschaften die größte Bedeutung für den Verderb bei niedrigen Temperaturen zu. Sie können zu Beginn des Fleischverderbs über 90% des gesamten Keimgehalts ausmachen (MEAD et al., 1982; GILL, 1986; BEM, HECHELMANN, 1994; WEISE, 1996). KUNZ (1994) sowie MEAD und Mitautoren (1982) weisen darauf hin, dass bei gekühltem Geflügelfleisch auch psychrotrophe *Enterobacteriaceae*, wie *Enterobacter* und *Klebsiella*, zum Verderb beitragen können.

Mit zunehmender Temperatur kommt es allerdings zu einer Umschichtung der Mikroflora zugunsten mesophiler Arten, wie mesophile *Enterobacteriaceae* (GILL, 1986; POONI und MEAD, 1984; LAMBERT et al., 1991). So konnten GALLO (1981) sowie REGEZ und Mitautoren (1988) auf Geflügelfleisch bei Kühlagerung einen Pseudomonadenanteil von bis zu 80% nachweisen, der sich bei einer Lagerung bei 10 °C auf 40% reduziert und bei einer Temperatur von 20 °C nur noch 2% der gesamten Verderbsflora ausmacht. Somit kann durch die Temperaturführung ein Umschichtung bzw. eine Unterbindung bestimmter Bakterienarten erfolgen (KRÖKEL, HECHELMANN, 1998).

Auch durch die Art der Verpackung kann die mikrobiologische Flora verschoben werden. So wird durch Vakuumverpackungen und MAP (Modified-Atmosphere-Packaging)-Verpackungen das Wachstum grampositiver Bakterien, zumeist Milchsäurebakterien, gefördert. Die vorherrschenden Milchsäurebakterien gehören vornehmlich zur Gattung *Lactobacillus*, *Leuconostoc* und *Carnobacterium*. Unter Schutzgasverpackung zählt darüber hinaus *B. thermosphacta* zu der typischen Verderbsflora (LAMBERT et al., 1991; LABUZA, FU, 1995; UPMANN et al., 2000).

Parallel zu der Entwicklung der Verderbsflora können sich im Lebensmittel pathogene Keime vermehren (NEUMAYR, 1980). Insbesondere Geflügelfleisch wird häufig mit Lebensmittelvergiftungen in Verbindung gebracht (TOMPKIN, 1990; UPTON, 1996). Neben Salmonellen und bestimmten Stämmen von *Yersinia enterocolitica* sind in diesem Zusammenhang *E.coli* und *Staph.aureus* zu nennen (MEAD, 1982; KRÄMER, 1997; WEISE, 1996; BAUMGART, 1999).

Das Wachstum von pathogenen Keimen im Lebensmittel hängt neben der Dichte der Startpopulation und der Dichte der Konkurrenzflora auch von den Temperaturbedingungen ab. Da die meisten pathogenen Lebensmittelvergifter den mesophilen Mikroorganismen zuzuordnen sind, kann durch eine Kühlagerung unterhalb 7°C deren Vermehrung und die Toxinbildung gehemmt werden (REUTER, 1996; UPMANN et al., 2000).

Die Zusammensetzung der Mikroorganismenflora auf frischem Fleisch hängt somit von der Verpackung, der Lagertemperatur, der Gaszusammensetzung in der Verpackung sowie den

Fleischeigenschaften ab (LABUZA, FU, 1995; BORCH et al., 1996). Dementsprechend kann präzise keine Keimart durch die der Frischeverlust für Fleisch bestimmt werden soll, angegeben werden. Bei der Wahl der Keimart müssen somit o.g. Faktoren berücksichtigt werden. Nach LABUZA und FU (1995) eignet sich für frisches unverpacktes, gekühltes Fleisch *Pseudomonas* als guter Frischeparameter, bei verpackter Ware hingegen *Lactobacillus*. POONI und MEAD (1984) geben für frisches Geflügelfleisch ebenfalls *Pseudomonas* und zusätzlich *Enterobacteriaceae* bei höheren Lagertemperaturen an. LEAK (2000) beschreibt in seinen Untersuchungen den Qualitätsverlust von frischem Fleisch anhand der Gesamtkeimzahl.

Untersuchungsverfahren

Als amtliche Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Keimzahlen ausgewählter Mikroorganismen für Lebensmittel sind nach § 35 LMBG die traditionellen Koloniezählverfahren, wie Guss-, Spatel- und Tropfplattenverfahren, zugelassen. Die Bebrütungstemperatur und –zeit sind dabei von den Ansprüchen der nachzuweisenden Bakterien abhängig (BAUMGART, 1999).

Im Sinne der modernen Qualitätssicherungssysteme und des HACCP-Konzeptes bei den Lebensmittelproduzenten bedarf es bei der Prozesskontrolle allerdings einer schnellen Ergebnislieferung, um gegebenenfalls lenkend in den Produktionsprozess eingreifen zu können. Daher haben in den letzten Jahren insbesondere im Fleischbereich Schnellmethoden zum Nachweis relevanter Mikroorganismen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Diesbezüglich wird die Impedanztechnik als wertvolle Methode beurteilt, die schnell Ergebnisse liefert und hinsichtlich des Personal- und Materialaufwandes kostengünstig ist (KOUTSOUMANIS et al., 2000; SCHULENBURG, 1997; WAWERLA et al., 1998).

Zum Nachweis von Mikroorganismen mittels des Impedanzmessverfahrens werden Stoffwechselfvorgänge ausgenutzt, die elektrisch messbare Veränderungen der Nährlösung bewirken. Durch den Stoffwechsel der Organismen werden hochmolekulare Bestandteile des Nährmediums in kleine, geladene Bestandteil (Ionen) zerlegt. Diese leisten einen wesentlichen Beitrag zum Stromtransport, demzufolge nimmt die elektrische Impedanz des Nährmediums ab. Die registrierte Impedanzänderung ist ein Maß für die Stoffwechselaktivität und somit für die Anzahl der vorhandenen Keime (PLESS, REISINGER, 1995; REINSCHMIDT et al., 1992; WAWERLA et al., 1998). Da unterschiedliche Keime eine unterschiedliche Stoffwechselaktivität besitzen, ist für die Untersuchungsergebnisse die Zusammensetzung der Keimflora des Lebensmittels sehr wichtig. So dominieren bei frischen Schlachtkörpern stoffwechselaktive Keimgruppen, wie Laktobazillen, Kokken und *Enterobacteriaceae*, während bei gekühlten Schlachtkörpern neben stoffwechselaktiven *Enterobacteriaceae*, stoffwechsellinaktive psychrotrophe Keimgruppen (*Pseudomonas*, *B.*

thermosphacta) vorherrschen. Aus diesem Grund ist beim Vergleich des Impedanzmessverfahrens mit kulturell ermittelten Keimzahlen aufgrund der unterschiedlichen Keimflora bei frisch geschlachteten und bei länger gekühlten Schlachtkörpern Vorsicht geboten. Ist eine hohe Anzahl von *Enterobacteriaceae* vorhanden, zeigt sich eine gute Korrelation mit der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl (RUSSELL et al., 1992; BEM, HECHELMANN, 1994)

Sensorische Parameter

Bei der Entscheidung über die Frische des Lebensmittels sind nicht nur die Mikrobenzahl, sondern auch die sensorischen Eigenschaften maßgebend (GILKA et al., 1980). Frischeverlust und einsetzender Verderb werden durch sensorische Veränderungen, wie Geruchsabweichungen, Verfärbung und Änderung der Konsistenz, wahrnehmbar (KRÄMER, 1997). Ausgehend von ihrer Ausprägung entscheidet der Verbraucher über die Qualität und den Frischestatus des Produkts (TÄUFEL et al., 1993; POONI, MEAD, 1984).

Ursache dafür sind in erster Linie die durch Bakterien hervorgerufenen enzymatischen Abbauvorgänge wie Glykolyse, Proteolyse und Lipolyse (GILL, 1983). Je nach Art der anwesenden Mikroflora, kommt es dabei zu unterschiedlichen Verderbserscheinungen. Die bei Kühlung von Fleisch relevante Verderbsflora, wie Vertreter von *Pseudomonas* und kältetolerante *Enterobacteriaceae*, ist unter aeroben Bedingungen verantwortlich für den entstehenden „Schmierbelag“ auf der Fleischoberfläche. Die charakteristischen Geruchsabweichungen sind in erster Linie auf die stark ausgeprägten Stoffwechselaktivitäten der Pseudomonaden zurückzuführen, die eine gesteigerte Produktion proteolytischer und lipolytischer Enzyme aufzeigen. (FRICKER, 1984; DAINTY, MACKEY, 1992; KRÖKEL, HECHELMANN, 1998; RICHTER et al., 1998). Die von den kältetoleranten *Enterobacteriaceae* verursachten Verderbsaktivitäten fallen u. a. durch die H₂S-Bildung auf, welches durch Reaktionsprozesse im Gewebe eine Grünfärbung hervorruft (WEISE, 1996). Durch die mesophilen Arten kommt es eher zu süßlich-käsigen Fehlgerüchen, die von Stoffwechselprodukten, wie Diacetyl, Acetoin und 2,3-Butandiol, ausgehen (BORCH et al., 1996; KRÖKEL, HECHELMANN, 1998).

Nach PÖTZELBERGER und Mitautoren (1997) wird die Sensorik als eine sehr zuverlässige Methode beurteilt, um den einsetzenden Verderb von Frischfleisch zu erkennen. Bei ihren Untersuchungen von Frischfleisch stellen sie in 95% der Fälle eine Übereinstimmung der sensorischen mit der mikrobiologischen Bewertung fest. GILKA und Mitautoren (1980) bewerten die Sensorik ebenfalls als eine zuverlässige Methode zur Beurteilung des Frischegrades.

Für die sensorische Analyse gibt es unterschiedliche Bewertungsarten. Eine Methode ist der so genannte Unterschiedstest, bei dem i. d. R. der Prüfer drei Proben erhält, wobei eine der Proben sich von den übrigen unterscheidet. Diese Methode erlaubt jedoch nicht die Modellierung eines Qualitätsverlustes. Von dieser Art der Prüfung unterscheiden sich die Hedonischen Tests. Dabei wird die Qualität des Produktes anhand von Skalen festgelegt. Häufig findet bei dieser Testart eine separate Bewertung der Merkmalseigenschaften des Lebensmittels statt (Farbe, Geruch, Textur). Anschließend wird aus den Einzelbewertungen eine Indexbildung vorgenommen. Problematisch erweist sich bei dieser Methode die Bestimmung des Endpunktes, an dem das Ende der Haltbarkeit erreicht ist (LABUZA, 2002). GILL und HARRISON (1989) sowie TAOUKIS und Mitautoren (1999) führten bei ihren sensorischen Untersuchungen ein 3-Punkte-System ein, mit denen die Fleischfarbe, Geruch und die Textur beurteilt wurde: (1 = akzeptabel, 2 = geringe Abweichungen und 3 = nicht mehr akzeptabel). Andere Autoren zogen bei der sensorischen Bewertung von Frischfleisch eine 4, 5, 9 oder 10 Punkte Skala heran (LEAK, 2000)

1.1.3 Einflussfaktoren auf die Haltbarkeit

Unter dem Begriff „Haltbarkeit“ ist allgemein die Dauer der Lagerung nach der Produktion bis zum Verderb eines Lebensmittels zu verstehen (BORCH et al., 1996; TAOUKIS et al., 1997; UPMANN et al., 2000). Derzeit wird die Haltbarkeit über das Mindesthaltbarkeitsdatum angezeigt, welches jedoch nichts über die Frische des Produktes, sondern nur etwas über die Haltbarkeit bei empfohlenen Lagerbedingungen aussagt (LETTMANN et al., 2003). SINELL (1992) gibt für Schweinehälften bei einer Lagertemperatur von 0 - 2°C eine Lagerdauer von 10 - 14 Tagen an, für Geflügelfleisch 6 - 8 Tage.

Der Frischeverlust bzw. die Haltbarkeit eines Lebensmittels wird signifikant durch die Umgebungsfaktoren beeinflusst. Hinsichtlich der Faktoren wird in der Literatur zwischen den „intrinsic factors“ (Innenfaktoren) und „extrinsic factors“ (Außenfaktoren) unterschieden (TAOUKIS et al., 1997; PICHARDT, 1998; KLEER, HILDEBRANDT, 2002). KRÄMER (1997) nennt darüber hinaus die „process factors“ (Herstellungsfaktoren). Zu den Innenfaktoren werden die physikochemischen Eigenschaften des Lebensmittels, wie die Art der Inhaltsstoffe, die Wasseraktivität (a_w -Wert), der pH-Wert, gezählt. Die Außenfaktoren werden durch die Lagerbedingungen, wie Temperatur, relative Feuchte und Gasatmosphäre, charakterisiert (Abb.2) (KRÄMER, 1997; TAOUKIS et al., 1997; PICHARDT, 1998, KREYENSCHMIDT, REICHSTEIN, 2002). Durch die genannten Faktoren zeigt jedes Lebensmittel ein charakteristisches Verderbsmuster (LABUZA, FU, 1995).

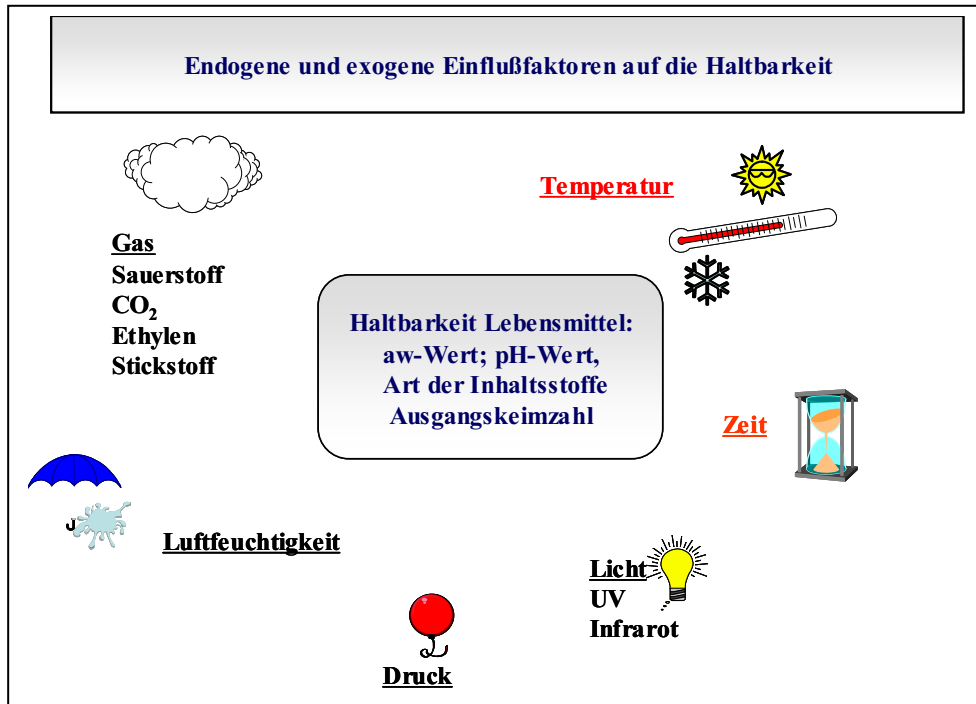


Abb.2 : Einflussfaktoren auf die Haltbarkeit von Lebensmitteln

Bei den „intrinsic factors“ ist neben der Höhe des Ausgangskeimgehalts die Höhe des a_w -Wertes entscheidend für die Dauer der Haltbarkeit. Die Wasseraktivität kann Werte zwischen 0,0 und 1,0 annehmen. Die Wachstumsgeschwindigkeit von Mikroorganismen nimmt mit fallendem a_w -Wert ab. So können die meisten Schimmelpilze nur bis zu einem a_w -Wert von 0,7, Hefen bis 0,8 und einige Bakterien bis 0,9 wachsen. Werte im Bereich zwischen 0,98 - 1,0, wie beim Fleisch, bieten somit ideale Wachstumsbedingungen für Bakterien (KRÄMER, 1997; MÜLLER, WEBER, 1996; PICHHARDT, 1998; UPMANN et al., 2000; GAUKEL, 2002). Über eine Steuerung der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebung besteht die Möglichkeit, die a_w -Werte von Lebensmitteln zu beeinflussen. So kann durch Senkung der relativen Luftfeuchtigkeit unter den a_w -Wert eine Verdampfung des Oberflächenwassers des Fleisches erreicht werden (UPMANN et al., 2000). In Verbindung mit einer geeigneten Temperaturführung kann daher auf diesem Wege eine Abtrocknung der Fleischoberfläche erreicht und die mikrobiologische Stabilität erhöht werden (BEM, HECHELMANN, 1994). So kann bereits eine relativ geringe Erniedrigung des a_w -Wertes auf 0,98 die Vermehrung der Kühlhausflora unterbinden, während ab einer Wasseraktivität von 0,95 die meisten gesundheitlich bedenklichen Mikroorganismen gehemmt werden (LÜCKE, TROEGER, 1998; BEM, HECHELMANN, 1994).

Neben dem a_w -Wert ist der pH-Wert gleichfalls ein bedeutender Faktor für die Haltbarkeit. Die meisten lebensmittelverderbenden und pathogenen Mikroorganismen bevorzugen für ihr

Wachstum ein pH-neutrales Milieu von 7,0 und verlangsamen ihre Vermehrung mit Senkung des pH-Wertes. Unter einem pH-Wert von 5,0 können sich nur noch spezielle Mikroorganismen vermehren, wie beispielsweise Milchsäurebakterien (BEM, HECHELMANN, 1994; KRÄMER, 1997; UPMANN et al., 2000).

Fleisch hat unmittelbar nach der Schlachtung einen pH-Wert von 7,0. Nach der Reifung sinkt der pH-Wert von Schweinefleisch auf 5,7 – 6,0. Bei DFD-Fleisch bleibt der pH-Wert hoch und es können Werte über 6,2 ermittelt werden, so dass die Haltbarkeit erheblich reduziert wird. Bei Geflügelfleisch werden nach der Reifung Werte von 5,7 – 5,9 in der Brustmuskulatur und von 6,4 – 6,7 in der Schenkelmuskulatur erreicht (BARNES, 1976; BEM, HECHELMANN, 1994; WEISE, 1996; SCHWÄGELE, 1998).

Bei den „extrinsic-factors“ kommt der Temperaturführung bzw. -einhaltung während des Transports und der Lagerung die größte Bedeutung für die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln zu. Die optimale Lagertemperatur für Fleisch liegt so nahe wie möglich am Gefrierpunkt des Fleisches (-1,8°C), daher lässt sich Fleisch bei -1,5°C am längsten lagern (MOJE, 1998). Bei Überschreitungen der vorgegebenen Lagertemperaturen kann es zu beschleunigten mikrobiellen, biochemischen und chemischen Zersetzungsprozessen kommen, wodurch die Haltbarkeit reduziert wird (GAUKEL, 2002). So ist Geflügelfleisch bei einer Temperatur von 0°C 24 Tage haltbar, bei einer Temperatur von 4°C 6 Tage, bei 10°C 2 Tage und bei 15 °C beträgt die Haltbarkeit nur einen Tag (BEM, HECHELMANN, 1994). ALMONACID-MERINO und TORRESE (1993) stellten bei Untersuchungen fest, dass die Haltbarkeit von Lebensmitteln um 20-30% verkürzt wird, wenn das Produkt kurzzeitig (2-3% der Lagerzeit) bei Raumtemperatur gelagert wird.

Aus mikrobiologischer Sicht wirkt sich dabei der konservierende Einfluss der Kühlung vor allem auf eine Verlängerung der lag-Phase und der Generationszeit aus (KRÄMER, 1997; BRAUN et al., 1998; WEISE, 1996; UPMANN et al., 2000; LABUZA, 2000; MARIOTT, 1992). Als Faustregel gilt, dass sich die Wachstumsgeschwindigkeit bei einem Temperaturanstieg um 10°C verdoppelt (GILL, 1986). HILBERT und SMULDERS (2000) erklären den konservierenden Einfluss der Temperatur durch Veränderungen in der Zellmembran die durch Kälte hervorgerufen wird. In dieser Kälteakklimationsphase reagieren die Mikroorganismen mit einer Anpassung der Zellmembran und einer Veränderung der Proteinsynthese. Die Proteinsyntheserate wird herabgesetzt, aber die sogenannten „cold shock“ Proteine werden verstärkt gebildet. Diese Anpassung ist nicht nur psychrotoleranten Mikroorganismen eigen, sondern wird auch in mesophilen Arten vollzogen. Erst nach der Anpassungsphase kommt es zu einer Wiederaufnahme des Wachstums. Aus diesem Grunde ist auch das Wachstum von pathogenen Keimen unter Kühltemperaturen zu beachten.

Auch die Verpackungsart bzw. die Atmosphäre in der Verpackung können die Haltbarkeit beeinflussen. Unterschieden wird im Allgemeinen zwischen gasdurchlässiger Folie, Vakuumverpackung und Schutzgasverpackungen mit verschiedenen Gasgemischen (MAP = modified atmosphere packing). Bei der MAP-Verpackung, werden als Schutzgase in der Regel Kohlendioxid, Sauerstoff und Stickstoff eingesetzt, diese können in unterschiedlicher Zusammensetzung enthalten sein (SMULDERS, UPMANN, 2000; BORCH et al., 1996). Dem CO₂ kommt dabei aufgrund seiner bakteriostatischen Wirkung die größte Bedeutung zu, die mit abnehmender Temperatur weiter verstärkt wird. Gehemmt werden durch CO₂ vor allem die gramnegativen psychrotrophen Verderbniserreger. Bei *Lactobacillus* konnte bisher noch keine Hemmung durch CO₂ festgestellt werden, wohl aber konnte der Ausstoß antimikrobiell wirkender Substanzen beobachtet werden (BOHNSACK et al., 1987; LAMBERT et al., 1991; SCHOTT, 1999; PFEIFFER, MENNER, 1999; KRÄMER, 1997; KRÖKEL, HECHELMANN, 1998). Durch die Gasatmosphäre in der Umgebung eines Lebensmittels wird somit die Zusammensetzung der Mikroflora erheblich beeinflusst, was sich auch auf die Haltbarkeit auswirkt. In Abhängigkeit von der Verpackungsart erhöht sich die Haltbarkeit von Fleisch in folgender Reihenfolge: Lagerung in Normalatmosphäre, MAP mit hohem Sauerstoffanteil, Vakuumverpackung, sauerstofffreie MAP und 100% CO₂-MAP (BORCH et al., 1986). Mittels MAP-Verpackung kann dabei eine Haltbarkeitsverlängerung auf das Doppelte bis Dreifache gegenüber nicht unter Schutzgas gelagertem Fleisch erzielt werden. Dies gilt allerdings nur unter Kühlbedingungen. Der Effekt sinkt mit zunehmender Temperatur (LAMBERT et al., 1991; BAILEY et al., 1979; WEISE, 1996; BOHNSACK et al., 1987).

1.1.4 Prinzipien bei der Modellierung des Frischeverlustes

In den vergangenen Jahren wurde die Abschätzung des Frischeverlustes von Lebensmitteln, über unterschiedliche Parameter (mikrobiologische, sensorische, biochemische) vorgenommen. Die Modellierung dieses Prozesses erfolgt i. d. R. jedoch anhand mikrobiologischer Parameter. So begannen erste Ansätze der Modellierung bereits 1825 durch Gompertz (MESZAROS et al., 1994). Gegenstand heutiger Modellierung ist in erster Linie das Verhalten von lebensmittelrelevanten Mikroorganismen in Abhängigkeit von verschiedenen Umgebungsfaktoren. Diese so genannten Kinetischen Modelle ermöglichen quantitative Aussagen über mikrobiologische Aktivität, dadurch ist es möglich, den Verderb von Lebensmitteln vorherzusagen (MESZAROS et al., 1994; Mc MEEKIN et al., 1997). Die kinetischen Modelle werden in Wachstums- und Inaktivierungs- bzw. Überlebensmodelle untergliedert. Diese lassen sich wiederum in primäre, sekundäre und tertiäre Ebenen einstufen:

Modelle der primären Ebene:

Bei den Modellen der primären Ebenen steht die Entwicklung der Zellzahl in Abhängigkeit von der Zeit im Vordergrund. Durch unterschiedliche Funktionen wird versucht, den Verlauf oder spezifische Abschnitte des Verlaufs genau zu beschreiben.

Der typische Verlauf der Wachstumskurve von Mikroorganismen ist dabei von sigmoidaler Gestalt und lässt sieben Wachstumsphasen erkennen, die mehr oder weniger stark ausgeprägt auftreten (SCHLEGEL, 1992). Mathematisch lässt sich dieser Vermehrungsverlauf über drei Kennzahlen definieren: Die Dauer der lag-Phase, die maximale Wachstumsrate im exponentiellen Abschnitt und die maximale Keimdichte. Für die Ermittlung der Kennzahlen aus dem jeweils gewonnenen Datenmaterial muss eine Kurve dem Wachstumsverlauf genau angepasst werden („Curve-Fitting“). Die am häufigsten verwendete Funktion zur Beschreibung der Zellentwicklung ist die Gompertzfunktion (Gl.1), welche zu einer guten Bestimmung der Wachstumsparameter führt (WHITING, 1995; ZARITZKY et al., 1997).

Mit den aus der Gompertzfunktion ermittelten Parametern ist es möglich, den Frischeverlust bzw. die Haltbarkeit des Lebensmittels anhand des Wachstumsverhaltens der Mikroorganismen unter den getesteten Bedingungen zu berechnen.

$$\log_{10}N(t) = A + C \exp [-\exp (-B(t-M))] \quad (\text{Gl.1})$$

$N(t)$ = Keimdichte zur Zeit t , A = Anfangskeimdichte (log KBE/g/h), C = log Maximalkeimdichte – log Anfangskeimdichte (log KBE/g), B = Wachstumsrate (log KBE/h/h), M = Zeit bei der Wachstumsrate maximal ist (h).

Die Abbildung 3 zeigt die einzelnen Parameter der Gompertzfunktion schematisch dargestellt.

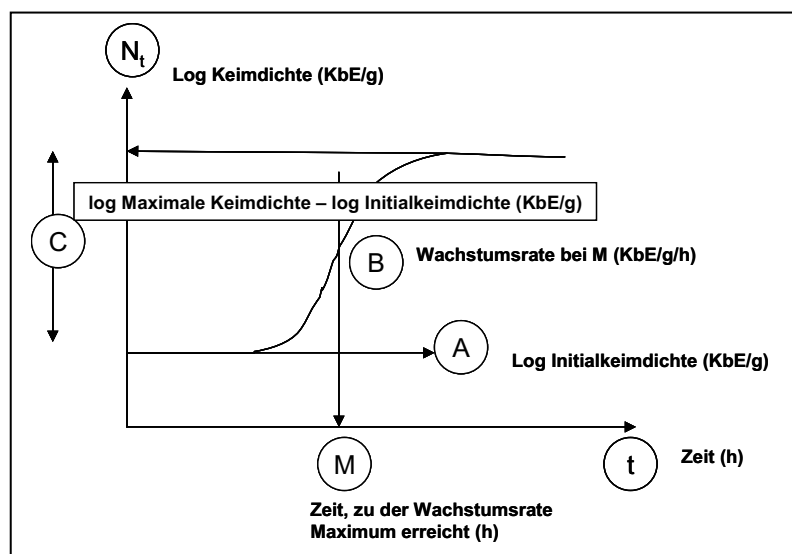


Abb. 3: Anwendung der modifizierten Gompertzfunktion bei der Kurvenanpassung (Quelle: KLEER, HILDEBRANDT, 2002)

Modelle der sekundären Ebene:

Die Modellierung der Einflussfaktoren auf die Haltbarkeit von Lebensmitteln erfolgt durch Modelle der sekundären Ebene. Am häufigsten wurde dabei der Einfluss der Temperatur mit Hilfe des Arrhenius-Modells (Gl.2) berechnet.

$$k = k_a \exp (-E_A/RT) \quad (\text{Gl.2})$$

k_a = Geschwindigkeitskonstante, E_A = Aktivierungsenergie der Reaktion, die den Frischeverlust leitet, R = universelle Gaskonstante, T = Temperatur.

Das Modell stammt ursprünglich aus dem chemischen Bereich und beschreibt die Abhängigkeit von Reaktionsgeschwindigkeiten und Temperatur (POONI, MEAD, 1984). Ausgedrückt wird die lineare Beziehung durch das Auftragen der logarithmischen Geschwindigkeitskonstante gegen die Reziprokenwerte der absoluten Temperatur. Aus dem sogenannten Arrhenius-Plot errechnet sich die Aktivierungsenergie, über die eine Einschätzung der Temperaturabhängigkeit des Frischeverlustes vorgenommen werden kann (WHITING, 1995).

Die Aktivierungsenergie für Reaktionen, die den Lebensmittelverderb verursachen, bewegt sich im Bereich zwischen 30 – 120 kJ/mol (TAOUKIS, 2001). Tabelle 2 gibt einen Überblick über Aktivierungsenergien, die beim Fleisch ermittelt wurden.

Tab.2: Übersicht über für Schweine- und Geflügelfleisch ermittelte Werte der Kenngröße: Aktivierungsenergie

Fleischart	Lagerungsumgebung	Aktivierungsenergie (kcal/mol)	Quelle
Schweinefleisch	Vakuumverpackt	31,3	GILL und HARRISON (1989)
	CO ₂	40,4	
Schweinefleisch	Keine Angaben	27	LABUZA (1982)
Schweinefleisch	vakuumverpackt	31,3	LABUZA und FU (1995)
Hühnerfleisch	Unverpackt	15,9	LABUZA und FU (1995)
	30% CO ₂ + Luft	23,5	
	30% CO ₂ + N ₂	23,5	
	100% CO ₂	27,1	

Modelle der tertiären Ebene:

Auf der dritten Modellebene werden die primären und sekundären Modelle zu einer bedienerfreundlichen Software programmiert. Mit dieser Software sollte es möglich sein, das Wachstum ausgewählter Bakterien unter bestimmten Bedingungen vorherzusagen (WHITING, 1995). Dadurch können Haltbarkeitsvorhersagen in Zukunft ohne aufwendige mikrobiologische Testreihen auf einfache Weise durchgeführt und die mikrobiologische

Sicherheit und Stabilität von Lebensmitteln, während der Herstellung, dem Transport und der Lagerung, verbessert werden. Ein Beispiel bereits auf den Markt vorhandener Programme sind das „Food Micromodel“ und das „Pathogen Modelling Programme“ (PMP), mit dem das Verhalten vieler pathogener Bakterien in Lebensmitteln vorausgesagt werden kann (Mc MEEKIN et al., 1992; WHITING, 1995; Mc MEEKIN et al., 1997; ROBERTS, 1997; KOUTSOMANIS et al., 2000).

Neben der Bestimmung des Frischeverlustes durch mikrobiologische Parameter besteht auch die Möglichkeit, den Frischeverlust anhand enzymatischer oder sensorischer Parameter zu modellieren (TAOUKIS et al., 1997; LABUZA, 2000). Die Vorgehensweise ist dabei analog zu der der mikrobiologischen Modellierung. Es muss also zunächst das Verhalten der Qualitätsparameter über die Zeit analysiert (primäres Modell) und anschließend der Einfluss der Umgebungsfaktoren untersucht werden (sekundäres Modell). Die Modellierung über enzymatische oder sensorische Parameter wird im Fleischbereich bisher nur vereinzelt angewendet. Anders sieht es im Fischbereich aus. Hier wurde in einem europäischen Gemeinschaftsprojekt (FAIR CT97 9063) eine Software (QIM) zur Modellierung des Frischezustandes von Fisch entwickelt, die sich ausschließlich auf sensorische Parameter bezieht (DALGAARD, 2000).

WELLS und Mitautoren (1987) sowie KREYENSCHMIDT und Mitautoren (2002) modellierten den Einfluss von Zeit und Temperatur auf die Qualität von Lebensmittel graphisch durch dreidimensionale Oberflächendiagramme bzw. durch ein zweidimensionales Konturdiagramm. Die Konturen stellen dabei Linien gleicher Wertigkeit, definiert durch Zeit und Temperatur, dar. Sind zwei Faktoren bekannt, kann der dritte jeweils berechnet werden.

1.1.5 Anwendung von Zeit-Temperatur-Integratoren

Die Forderungen nach qualitativ hochwertigen und sicheren Produkten sowie die Bestrebungen, dem Verbraucher die Handhabung eines Produktes möglichst bequem zu gestalten, haben in den letzten Jahren zu einer verstärkten Forschung im Bereich „Intelligente Verpackung“ geführt. Diese Verpackungssysteme sollen in Form von Foodlabels oder durch Substanzen, integriert in das Verpackungsmaterialien, Aufschluss u. a. über die Produktqualität (freshness indicator), die Gasatmosphäre in der Verpackung (leakage/ gas indicator) und die Lagerbedingungen des Produktes (time-temperature-integrator) geben (HAHN, 2002; HURME, 2002). Insbesondere im Bereich der Zeit-Temperatur-Integratoren wird in den letzten Jahren intensiv geforscht (BRODY, 2001).

Nach TAOUKIS und Mitautoren (1991) sowie HAARER (2002) können Zeit-Temperatur-Integratoren als kleine, preiswerte Etiketten genutzt werden, die Rückschlüsse auf die Temperaturbedingungen, bei denen ein Produkt gelagert wurde, erlauben. Die Funktionsweise der zur Zeit erhältlichen TTIs beruht auf chemischen, physikalischen, mikrobiologischen oder enzymatischen Prinzipien. Dabei wird das Reaktionsverhalten gewöhnlich irreversibel durch Farbänderungen oder Farbverläufe angezeigt. Diese sichtbaren Veränderungen erlauben Rückschlüsse auf die Lagerungsbedingungen, denen das Produkt unterlag. So bewirken hohe Temperaturen schnelle Veränderungen, niedrige Temperaturen entsprechend langsamere Veränderungen (LABUZA, 2000; LABUZA, FU, 1995; TSOKA et al., 1998, TAOUKIS, 2001).

Durch Integration der TTIs in die Verpackung von Lebensmitteln können Hersteller und Lieferanten dem Händler die korrekte Handhabung des angelieferten Produkts bezüglich der Lagerungs- und Transporttemperatur auf eine einfache und preisgünstige Methode garantieren. Gleichzeitig wird dem Händler die Möglichkeit gegeben, die Frische und die Qualität bzw. die noch verbleibende Haltbarkeit der angelieferten Ware zu beurteilen. Dadurch kann das ursprüngliche FIFO-Prinzip (First In First Out) der Lagerhaltung durch das LSFO-Prinzip (Least Shelf Life, First out) abgelöst werden. Auch für den Verbraucher stellen TTIs eine wertvolle Hilfe dar, um den Frischezustand des Produktes zu beurteilen (LABUZA, FU, 1995; LABUZA, 2000). Des Weiteren können diese Integratoren im Rahmen von HACCP-Konzepten als spezifisches Hilfsmittel eingesetzt werden.

Die Entwicklung des ersten TTIs erfolgte bereits 1932. Bisher ist jedoch nur eine geringere Anzahl von Prototypen entwickelt. Wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung solcher Prototypen sind dabei u. a. eine einfache Handhabung des Integrators (Ablesbarkeit, Aktivierung, Lagerung), eine hohe Zuverlässigkeit und die verwendeten Substanzen sollten keine toxische Wirkung aufweisen. Auch sollte der Integrator von externen Faktoren, wie beispielsweise Luftfeuchtigkeit, unbeeinflusst bleiben. Darüber hinaus sollte die temperatur- und zeitabhängige Reaktion des Integrators visualisierbar sein. Derzeit haben sich nur drei kommerziell erhältliche TTIs etabliert (TAOUKIS, 2001):

Typ 1 (3M Monitor Mark®) basiert auf einer zeit- und temperaturabhängigen Diffusion eines blaugefärbten Esters entlang einer Skala. Durch die Konzentration und die Art des Esters wird das Verhalten des Integrators bestimmt. Eine Reaktion des TTIs findet erst bei der Überschreitung einer definierten Schwellentemperatur, die durch das Schmelzverhalten des Esters bedingt ist, statt. Eine Lagerung oberhalb des Schmelzpunktes führt zur Verflüssigung des Esters und zur Diffusion entlang einer Matrix. Aufgrund des Schmelzpunktes des Esters können diese Integratoren auch als „Critical-Time-Temperature Integrator“ verwendet

werden. Dieses System war die erste bedeutende Entwicklung von TTIs und wurde erstmals von der WHO eingesetzt, um den Transport und die Lagerung von Impfstoffen zu überwachen (LABUZA, 2000; SHIMONI, LABUZA, 2001; TAOUKIS, 2001; 3M Laboratories, 2002).

Typ II (VITSAB® TTI) ist ein enzymatischer Integrator. Der Farbwechsel von grün zu gelb basiert auf einer pH-Werterhöhung, welche durch eine enzymatisch bedingte Hydrolyse eines lipidhaltigen Substrats bedingt ist (TSOKA et al., 1998; TAOUKIS et al., 1991; COX Technologies, 2000). Vor der Aktivierung besteht der Integrator aus zwei unterschiedlichen Kammern, wobei eine Kammer das gelöste Enzym enthält, die andere das Substrat mit einem pH-Indikator. Zur Aktivierung des Integrators wird eine Barriere zwischen den beiden Kammern gebrochen. Durch unterschiedliche Enzyme und Substrate kann der Integrator für verschiedene Lebensmittel angepasst werden. Vor der Aktivierung muss der Integrator kühl gelagert werden (TAOUKIS, 2001).

Die Funktionsweise des **Typs III** (Lifelines Freshness Monitor® and Fresh-Check® Indicator) beruht auf einer Polymerisation eines zuvor farblosen Acethylen- oder Diacethylenmonomers zu einem farbigen Polymer, dessen Länge und damit Farbintensität temperaturabhängig ist (TAOUKIS und LABUZA, 1997; LIFELINES Technologies, 2000). Das aktive Zentrum des Integrators ist umgeben von einem Referenzring als Anhaltspunkt für den Verfärbungsgrad. Vor der Aktivierung muss der Integrator bei -25 °C gelagert werden (BRODY, 2001; TAOUKIS, 2001).

Eine weitere Integrator-Variante wird derzeit an der Universität Bayreuth in Zusammenarbeit mit der Universität Haifa und Bonn entwickelt und erprobt. Dabei handelt es sich um ein Integratorsystem auf der Basis von Dinitrobenzylpyridin (DNBP). Werden diese Kristalle mit UV-Licht bestrahlt, so zeigen sie eine photochrome Reaktion und verfärben sich dunkelblau. Diese Blaufärbung beruht auf einer licht-induzierten Proton-Transfer Reaktion, bei der das blaue Photoprodukt durch 'thermisch aktiviertes Tunneln' wieder langsam in den farblosen Grundzustand zurückkehrt. Dargestellt ist die Protonen –Transfer Reaktion in Abbildung 4.

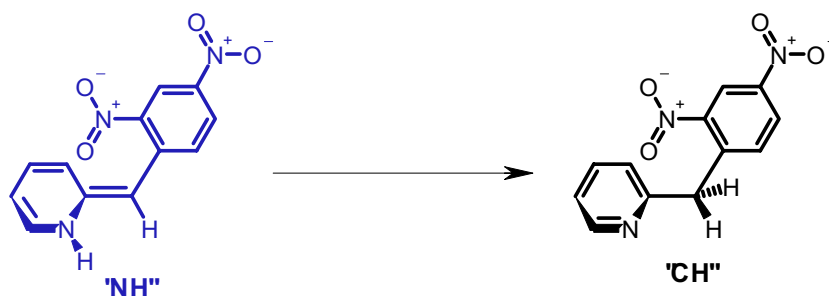


Abb. 4 : Protonen-Transfer-Reaktion des DNBP (Quelle: EICHEN et al., 1995)

Chemische Reaktionen mit derartig langsamen Zeitkonstanten sind im Allgemeinen Festkörperreaktionen. Sie erfolgen bei Kristallen meist mono-exponentiell, wobei die Reaktionskonstante thermisch aktiviert ist. Durch deuterieren des Materials können verschiedene DNBP-Derivate hergestellt werden, welche ein unterschiedliches Zeit-temperaturverhalten zeigen (Abb.5).

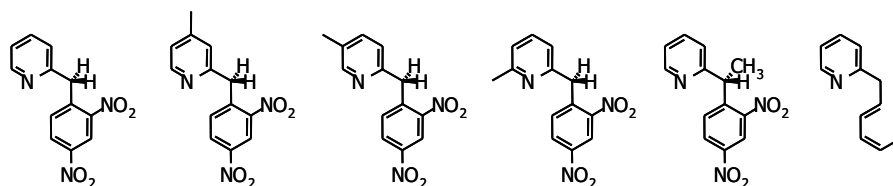


Abb.5 : Derivate des DNBP (Quelle: Eichen, 2002)

Um zu überprüfen, ob ein Integrator zur Charakterisierung des Lebensmittelverderbs geeignet ist, schlagen mehrere Autoren vor, den Entfärbeprozess des Integrators und den Verderb des Lebensmittels durch das gleiche mathematische Modell zu beschreiben (LABUZA et al., 1992; WHITING, 1995; ZARITZKY et al., 1997; TAOUKIS, 1999).

Nach LABUZA und TAOUKIS (1989) ist es daher notwendig zunächst das kinetischen Verhalten der Integratoren zu untersuchen (TAOUKIS, LABUZA, 1997; HURME, 2002). Die Vorgehensweise ist dabei analog zu der beim Lebensmittelverderb (Kap. 1.1.4): Zunächst muss ein geeigneter Parameter gefunden werden, durch den der Entfärbeverlauf des TTIs dargestellt werden kann. In der Regel sind diese Werte des $L^*a^*b^*$ -Farbmesssystems oder Reflexionswerte. Anschließend ist aus dem ermittelten Verhalten der jeweiligen Parameter über die Zeit die Qualitätsfunktion zu erstellen.

Der Temperatureinfluss auf die Integratoren, wird, wie beim Lebensmittel i.d.R. über das Arrhenius-Modell beschrieben. Die Temperaturabhängigkeit wird dabei durch die Aktivierungsenergie ausgedrückt. Eignet sich ein Integrator für die Qualitätsüberwachung eines Lebensmittels sollten beide nahezu die gleiche Aktivierungsenergie besitzen. Je größer die Differenz in der Aktivierungsenergie, desto weniger eignet sich der Integrator zur Frischeüberwachung. Durch diese Differenzen kommt es zu Fehlern, die sich insbesondere bei dynamischen Temperaturbedingungen bemerkbar machen (TAOUKIS, LABUZA, 1997; TSOKA et al., 1998; KOUTSOUMANIS et al., 2000).

Bei allen drei Integratortypen, die in diesem Kapitel vorgestellt wurden, konnte gezeigt werden, dass sie dem Arrheniusverhalten folgen. Die Aktivierungsenergien der von der Firma Lifelines erhältlichen Integratoren bewegen sich zwischen 19,5 – 27 kcal/mol, die Integratoren der Firma Vitsab zwischen 13 - 33 kcal/mol und der TTI der Firma 3M liegt bei 27 kcal/mol (LABUZA, FU, 1995; TAOUKIS, 2001). In einem bereits abgeschlossenen Forschungsprojekt wurde für einen Prototypen des Integrators Bayreuth/Haifa eine Aktivierungsenergie von 22,5 +/-1 kcal /mol ermittelt. Durch Veränderungen des DNBPs sind Aktivierungsenergien von 15, 9 – 27, 4 kcal/ mol erreichbar (KHATIB et al., 2000; LETTMAN et al., 2003)

1.2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens war es zu prüfen, in wie weit durch das Anbringen von Zeit-Temperatur-Indikatoren auf dem Etikett von SB-Waren (Selbstbedienungs-Ware) Verpackung eine Überprüfung der Einhaltung der Kühlkette vom Produzenten bis zum Verbraucher möglich ist. Um die Qualität frischer Lebensmittel zu garantieren, ist die Einhaltung vorgegebener Temperaturen innerhalb der Produktionskette einer der wesentlichen Faktoren. Eine lückenlose Temperaturüberwachung und deren Nachvollziehbarkeit vom Produzenten bis zum Verbraucher wären im Rahmen der Qualitätskontrolle sowie des gesundheitlichen Verbraucherschutzes wünschenswert. Bisher bestehende Temperaturüberwachungssysteme in der Praxis ermöglichen jedoch lediglich die kontinuierliche Messung der Umgebungslufttemperatur, wobei diese in den wenigsten Fällen mit der Produkttemperatur übereinstimmt, die darüber hinaus mit den üblichen Verfahren nur stichprobenhaft kontrolliert wird.

In einem bereits abgeschlossenen Forschungsbericht konnte gezeigt werden, dass die Temperaturabhängigkeit des Frischeverlustes und des Entfärbeverhaltens eines DNB-Integrators sich über das gleiche Modell beschreiben lassen (Arrhenius-Modell). Über die Berechnung der Aktivierungsenergie konnte im Labormaßstab dargelegt werden, dass sich der Integrator Bayreuth/Haifa für eine produktbegleitende Frischekontrolle bei frischem aerob verpacktem Schweine- und Geflügelfleisch eignet. Allerdings konnten im Laborversuch die Lagertemperaturen ohne große Schwankungen konstant gehalten werden. Die Zeit-Temperatur-Integratoren sollten deshalb im Rahmen dieses Projektes unter praktischen Bedingungen in einer Kühlkette überprüft werden. Dabei galt es auch unterschiedliche Aufladezeiten des Integrators zu testen, um die Startbedingungen zu variieren. Modellhaft ist SB-Waren Verpackung für Frischfleisch am Beispiel von portionierten Schweine- und Geflügelfleisch untersucht und dabei die Auswirkungen einer aeroben und anaeroben Verpackung auf den Frischeverlust und miteinander verglichen worden.

Ziel war es, in Zerlege- und Verpackungsbetrieben einzelne Chargen mit Temperatur-Indikator-Etiketten zu versehen und bis zur Auslieferung zum Großkunden die Prozessschritte in der Kühlkette nachzuvollziehen. Die Daten stellen die Grundlage zur Validierung eines Simulationsmodells dar, mit dem Prognosewerte für die Kühlkettenüberwachung vorhergesagt werden können. Diese Werte sollen sich zum einen auf die Vorschätzung der Haltbarkeitsdauer zum anderen auf das Entfärbeverhalten unterschiedlicher TTI-Varianten beziehen, wenn in bestimmten Zeitphasen die Lagertemperatur über- oder unterschritten wird.

2 Material und Methoden

2.1 Probenmaterial

Fleischproben

Die Praxistests wurden in Zusammenarbeit mit einem Zerlege- und Verpackungsbetrieb, der Frischfleisch als SB verpackte Ware produziert, durchgeführt. Als Probenmaterial für die Frischfleischuntersuchung wurden Schweinefleisch (Kamm) und Geflügelfleisch (Putenbrust) gewählt. Das Gewicht jeder Probe betrug beim Schweinefleisch ca. 2 kg, beim Geflügelfleisch ca. 1,5 kg. Die Probenentnahme erfolgte ca. 24 h nach der Schlachtung. Bei einigen Proben konnte das Fleisch erst 48 bzw. 72 h nach der Schlachtung vom Betrieb geliefert werden.

Integratorproben

Bei den eingesetzten Zeit-Temperatur-Integratoren handelt es sich um Prototypen, die in Zusammenarbeit der Universität Bayreuth und dem Technicon Haifa entwickelt wurden. Die chemische Grundsubstanz dieser Integratoren ist das Dinitrobenzylpyridin (DNBP), welches in Aceton gelöst und anschließend auf Wattmann-Filterpapier aufgebracht wurde. Nach einer Trocknungszeit von einigen Tagen wurden aus dem Filterpapier kreisförmige Integratoren mit einem Durchmesser von ca. 7 mm ausgestanzt. Diese Proben wurden von der Universität Bayreuth zur Verfügung gestellt.

2.2 Probenvorbereitung und –untersuchung

Fleischproben

Zu Beginn jedes Versuches wurden die ca. 2 kg schweren Schweinefleischstücke je nach Versuchsbedingung in 7 Teilproben von ca. 250 – 350 g geteilt, beim Geflügelfleisch (Putenbrust) hatten die Teilproben ein Gewicht von ca. 180 – 250 g. Jeweils die Hälfte der Proben wurde mit einer sauerstoffdurchlässigen Folie verpackt, die andere Hälfte vakuumverpackt. Eine der Teilproben jedes Fleischstückes wurde direkt nach dem Zerlegen ins Labor gebracht. Hier erfolgte die Bestimmung entsprechender Frischeparameter. Die restlichen Proben lagerten für 6 - 7 Tage je nach Versuchsreihe, in unterschiedlichen Kühlhäusern bei unterschiedlichen Temperaturen. Ein elektronischer Datenlogger überwachte die Temperaturbedingungen. Anschließend wurden auch bei diesen Proben im Labor die produktspezifischen Untersuchungskriterien bestimmt. Eine Versuchsreihe mit Geflügelfleischproben lagerte 14 Tage. Hier erfolgte eine Frischeuntersuchung am 1., 7. und 14. Tag.

Einen Überblick über die durchgeführten Versuchsreihen gibt Tabelle 3.

Tab.3: Durchgeführte Versuchsreihen bei Schweine- und Geflügelfleisch

Lagerzeit (h)	Lagertemperatur (°C)	Fleischart	Anzahl der Proben	
			Aerob verpackt	Vakuumverpackt
216 (168)*	2,2	Schweinefleisch	3	3
216 (168)	2,2	Schweinefleisch	3	3
216 (168)	2,8	Schweinefleisch		6
240 (168)	2,0	Schweinefleisch	2	2
216 (168)	4,5	Schweinefleisch	3	3
240 (168)	4,8	Schweinefleisch	3	3
168 (144)	1,9	Geflügelfleisch	3	3
168	2,0	Geflügelfleisch	3	3
168	2,0	Geflügelfleisch		6
240 (168)	1,9	Geflügelfleisch	3	3
336	2,0	Geflügelfleisch	3	3
168 (144)	6,5	Geflügelfleisch	3	3
240	6,6	Geflügelfleisch	3	3

() = Alter bei erstmaliger Probenentnahme bis zum Ende der Lagerung

Zur Charakterisierung des Frischezustandes bzw. des Verderbs des Lebensmittels wurden folgende Größen herangezogen:

Schweinefleisch: Impedanzkeimzahl, Sensorik

Geflügelfleisch: Impedanzkeimzahl, *Pseudomonadacea*, *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillaceae*, Sensorik

Zeit-Temperatur-Integrator

Parallel fanden Untersuchungen des Zeit-Temperatur-Integrators Bayreuth / Haifa statt. Da die Entfärbungszeit des Integrators Bayreuth /Haifa von der Intensität bzw. Dauer der UV-Bestrahlung abhängt, wurden unterschiedliche Aufladezeiten (15 und 30 sec) getestet. Die Bestrahlungsintensität der UV-Lampe (350 – 400 nm) betrug 6 mW.

Jede Fleischprobe wurde mit einem 15 sec bzw. 30 sec aufgeladenen Integrator versehen, der zeitgleich zur Verpackung aufgebracht wurde. Zusätzlich wurden auch Integratoren ohne Fleischproben gelagert, um den Probenumfang zu erhöhen. Zur Verhinderung des Wiederaufladens, wurden die Integratoren mit einer schwarzen Folie versehen.

Einen Überblick über die durchgeführten Versuchsreihen gibt Tabelle 4.

Tab.4: Durchgeführte Versuchsreihen bei den Temperatur-Zeit-Integratoren

Laufzeit TTI (h)	Lagertemperatur (°C)	Anzahl der Integratoren	
		Aufladezeit 15 sec	Aufladezeit 30 sec
144	1,9	6	6
168	1,9	6	6
168	1,9	6	6
168	2,1	6	6
168	2,0		2
168	2,2	6	
168	2,0	6	
168	2,2		6
168	2,8		5
192	2,0	6	6
216	2,1	6	6
216	2,0	6	6
216	2,0	6	6
240	2,1	6	6
336	2,0	6	6
168	3,7	6	6
216	3,7	6	6
240	3,7	6	6
168	4,5		6
168	4,8		4
144	6,5	6	6
168	6,6	6	6
168	6,4	6	6
220	6,4	6	6
240	6,4	6	6

2.2.1 Mikrobiologische Untersuchung

Zum Zeitpunkt der jeweiligen Probenahme wurden von den ca. 250 g schweren Teilproben jeweils 10 g mit nahezu gleicher Oberflächengröße steril entnommen und mit je 90 ml physiologischer Kochsalzlösung in einem Stomacherbeutel aufgefüllt (Verdünnung 1:10). Die Homogenisierung der Probe erfolgte im Stomacher (1 Minuten bei 60 Schlägen). Aus der Erstverdünnung wurde dann eine Verdünnungsreihe mit 0,9 %-iger NaCl-Lösung erstellt.

Die Keimzahlbestimmung der einzelnen Bakterien erfolgte in Anlehnung an die amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG.

Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die für die jeweilige Bakterienart verwendeten Nährmedien, Bebrütungszeiten und das Aussehen der Kolonien.

Tab.5: Verwendete Nährmedien zur Keimzahlbestimmung, Bebrütungstemperaturen und Aussehen der Bakterien

Bakterienart	Nährmedium	Bebrütungs- temperatur	Aussehen der Kolonien
<i>Pseudomonas spp.</i>	CFC Agar, CFC Selektivsupplement	48 h / 25 °C	Gelblich-weiße Kolonien
<i>Enterobacteriaceae</i>	VRBD-Agar	16-18 h / 37° C	Rot mit rötlichem Präzipitalhof
<i>Lactobacillaceae</i>	MRS Agar	24 h bei 37 °C	Klein, matt, weiß

Impedanz-Keimzahl (I-KZ)

Die Bestimmung der Impedanzkeimzahl erfolgte durch die Impedanz-Splitting-Methode, unter Verwendung des BacTrac4100 (Fa. SyLab, Österreich). Zur Ermittlung der I-KZ wurden die sterilen BacTrac-Messzellen mit je 9 ml sterilem BiMedia 002a befüllt und jeweils 1 ml der homogenisierten Probe hinzugegeben. Die Keimzahl wurde spätestens nach 24 h bei einer Bebrütungstemperatur von 30 °C angezeigt. Die genauen Einstellungen des BacTracs sind im folgenden aufgeführt.

		Geflügelfleisch	Schweinefleisch
Inkubationstemperatur		30°C	30°C
Messdauer		24 h	24 h
Intervallzeit		10 min	10 min
Aufwärmphase		1 h	1 h
Skalierung	M-Wert	-5 bis 40 %	-5 bis 40 %
	E-Wert	-5 bis 60 %	-5 bis 60 %
Schwellen	M-Wert	4 %	
	E-Wert	5 %	7%

2.2.2 Sensorische Untersuchung

Die sensorische Beurteilung des Probenmaterials erfolgte mittels einer einfach beschreibenden Prüfung der Merkmale Farbe, Geruch und Textur. Hierbei wurde der sensorische Eindruck für jedes Merkmal bei allen Fleischproben von einer Prüfperson mit frei wählenden Worten beschrieben. Zur anschließenden Bewertung der genannten Merkmale lag ein Bewertungsschema mit drei möglichen Noten zugrunde:

1 = Qualität ist nicht akzeptabel

2 = Qualität ist akzeptabel

3 = sehr gute Qualität

Die mit fortschreitendem Frischeverlust beobachteten Veränderungen der Merkmalseigenschaften sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

2 Tab.6: Bewertung der sensorischen Merkmalseigenschaften

Note	Beschreibung der Merkmalseigenschaften		
	Farbe	Geruch	Textur
3 („sehr gute Qualität“)	rosa / blass-rosa glänzend	arteigen frisch	fest faserig
2 („Qualität noch akzeptabel“)	gräulich-rosa	leer, leicht stichig	weich, klebrig
1 („Qualität nicht akzeptabel“)	gelblich-, orange-, weiße Stippen (Bakterienwachstum auf der Oberfläche)	gärig, süßlich, verdorben	schleimig, Fäden ziehend

Um ein aussagekräftiges sensorisches Gesamturteil (Q) bilden zu können, wurde ein Index entwickelt, welcher die einzelnen Merkmale unter Berücksichtigung ihrer Ausprägung und Bedeutung folgendermaßen gewichtet:

Farbe: F = 2 fach

Geruch: G = 2 fach

Textur: T = 1 fach

Demnach ergibt sich die sensorische Gesamtnote (Q) einer beurteilten Probe mit der Formel:

$$Q = \frac{2 * F + 2 * G + 1 * T}{5}$$

Sobald Q unter dem Grenzwert von 1,8 lag, galt die Probe als sensorisch verdorben.

2.2.3 Physikalische Untersuchung zur Erfassung des Entfärbeverhaltens der Zeit-Temperatur-Integratoren

Um die Farbänderung des TTIs zu erfassen, wurde in früheren Laborversuchen die Messung mit einem Spectrophotometer anhand des Lab-Farbmesssystems vorgenommen. Dabei zeigte sich der a-Wert als aussagekräftig, um den Entfärbeprozess des TTIs zu beschreiben. Da aus praktischen Gründen eine Farbvermessung des Integrators mit diesem Farbmessgerät nicht durchführbar war, und da gleichzeitig die Handhabbarkeit des TTIs getestet werden sollte, erfolgte die Auswertung des TTIs anhand von Farbskalen, bzw. Checklisten. Eine Farbskala stellt die Farbänderung des Integrators von blau nach weiß in 8 Stufen dar (Abb.5). Jeweils zu Beginn und am Ende des Versuches erfolgte eine Bewertung des TTIs anhand der Checklisten (siehe Anhang). Diese führten Mitarbeiter des Pilotbetriebes durch.

Für die spätere Auswertung wurde von jedem Farbfeld der Farbtafel die Höhe des a-Wertes bestimmt, um die Werte mit den bisherigen Laborversuchen vergleichbar zu machen.

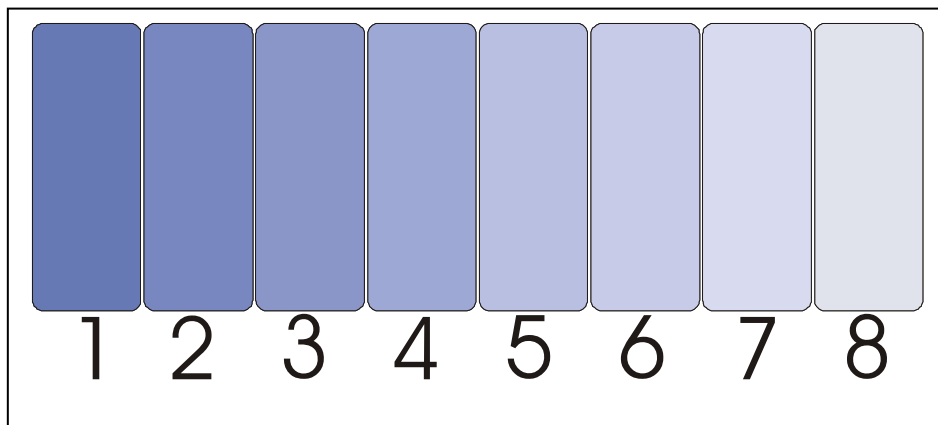


Abb.5: Farbtafel mit einzelnen Farbwerten

Tab.7: Gegenüberstellung der optische Farbwerte und die zugehörigen a*-Werte

Farbwert	1	2	3	4	5	6	7	8
a*-Wert	13 - 8	8 - 6,8	6,8 - 6,0	6,0 - 4,5	4,5 - 1,4	1,4 - 0,5	0,5 - -1	-1

Die dargestellten Werte sind Richtwerte, da aufgrund des individuellen und logarithmischen Farbempfindens des Menschen eine genaue Zuordnung der Farbfelder nicht möglich ist.

2.3 Statistische Auswertung

Die Verwaltung und Auswertung der ermittelten Daten erfolgte mit dem Programm Microsoft-Excel (Version 2000).

In einem bereits abgeschlossenen Forschungsbericht (USL Forschungsberecht 33110) konnte über die Berechnung der Aktivierungsenergie gezeigt werden, dass sich der Integrator Bayreuth/Haifa für eine produktbegleitende Frischekontrolle bei frischem aerob verpacktem Schweine- und Geflügelfleisch eignet. Die in dem Forschungsprojekt gewonnenen Daten waren weiterhin Basis für die Erstellung von Temperatur-Zeit-Funktionen mit denen der Frischeverlust bzw. die Haltbarkeit und das Entfärbeverhalten des Integrators in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit vorhergesagt werden können. Das Modell beruht auf einem mathematischer Ansatz, bei dem eine mehrdimensionale Modellierung von Zeit und Temperatur durchgeführt wird. Die Erstellung dieser Funktionen erfolgte unter der Verwendung des Versuchsplanungsprogramms Design Expert 6.05. Die detaillierte Vorgehensweise bei der Modellerstellung ist im USL Forschungsbericht 33110 beschrieben.

Die in diesem Pilotversuch gewonnenen Daten fließen in das erstellte Modell ein und dienen als Grundlage zur Validierung des Modells.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Verlauf von Temperaturspektren in Kühlhäusern

In den folgenden Abbildungen sind die Temperaturverläufe von den drei unterschiedlichen Kühlhäusern beispielhaft dargestellt, die im Pilotversuch zur Verfügung standen. Die Soll-Temperaturen der Kühlhäuser betragen 2°C, 4-5°C und 6-7 °C. Durch Aufnahme der Temperatur mit elektronischen Datenloggern konnte während der Versuchsreihen der Temperaturverlauf sowie die Schwankungsbreite aufgenommen werden.

In Abbildung 6 ist beispielhaft der Temperaturverlauf des Kühlhauses mit einer Soll-Temperatur von 2 °C dargestellt. Der höchste gemessene Wert liegt bei 4,2 °C und der niedrigste bei 1,8 °C. Die Höchstwerte treten jedoch nur vereinzelt auf und überschreiten nicht die vorgegebenen optimalen Lagerbedingungen von frischem Fleisch. In der Gesamtbetrachtung wird die Soll-Temperatur über einen langen Zeitraum eingehalten.

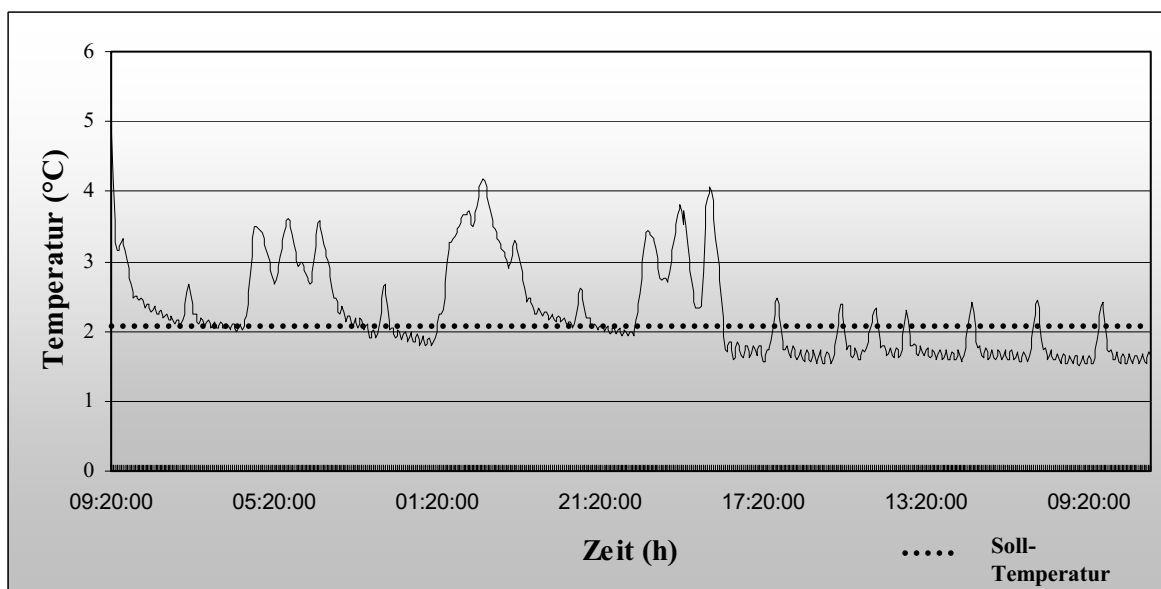


Abb.6: Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit in einem Kühlhaus mit der Soll-Temperatur von 2 °C

Bei einer Kühlhaus Soll-Temperatur von 4-5 °C liegen der tiefste gemessene Wert bei 3 °C und der höchste bei 6,8 °C. Betrachtet man den gesamten Temperaturverlauf liegen die Werte in der Regel auch hier innerhalb des Soll-Bereichs.

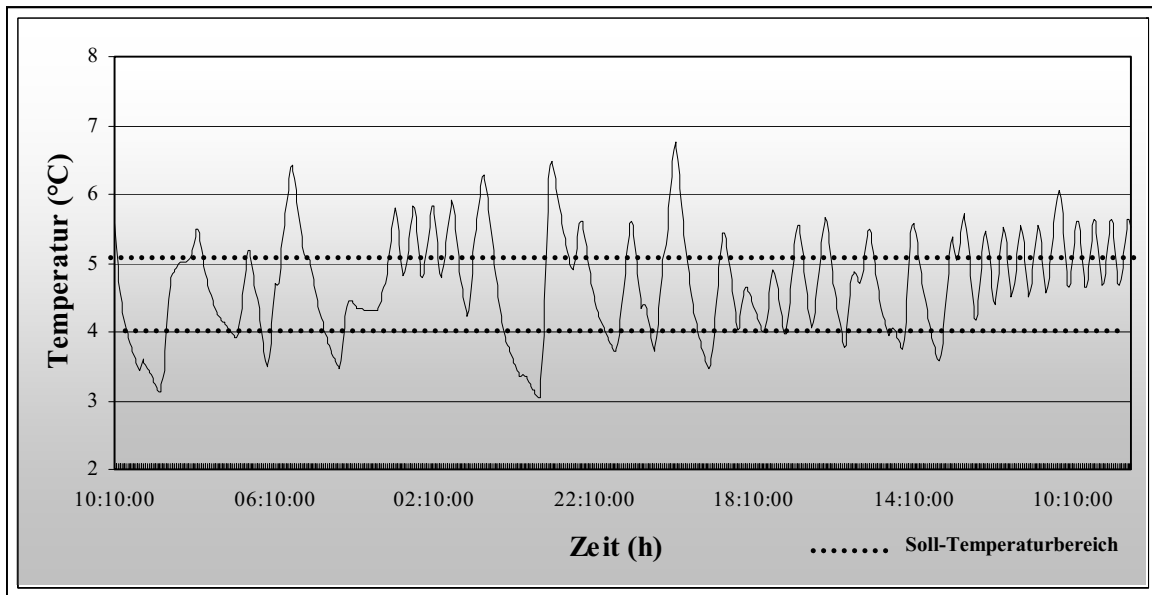


Abb.7: Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit in einem Kühlhaus mit der Soll-Temperatur von 4-5°C

Diese Beobachtung kann auch für das Kühlhaus mit einer Soll-Temperatur von 6-7 °C bestätigt werden. Der Höchstwert liegt bei 7,5 °C. Die niedrigsten Temperaturwerte befinden sich im Bereich von 6,4 °C.

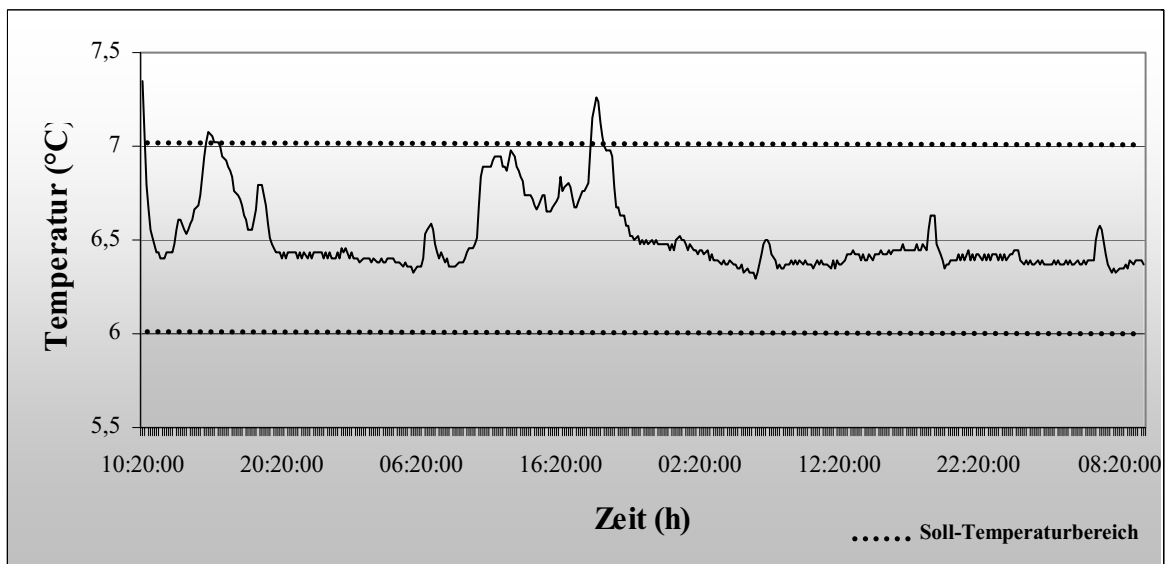


Abb.8: Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit in einem Kühlhaus mit der Soll-Temperatur von 6-7 °C

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zwar bei allen Kühlhäusern Abweichungen von der Soll-Temperatur auftreten, es sich aber um minimale Abweichungen handelt, wenn man den gesamten Messzeitraum betrachtet.

Tabelle 8 fasst für alle Versuchsreihen die Soll-Temperaturen des Kühlhäuses, die Mittelwerte, die Standardabweichung sowie die minimalen und maximalen Temperaturwerte, die in den Versuchsreihen gemessen wurden, zusammen. Vergleicht man die Soll-Temperatur mit dem Mittelwert, so sind nur geringe Abweichungen zu erkennen. Auch die Standardabweichung ist in allen Versuchsreihen sehr gering. So beträgt die maximale Standardabweichung im 2°C-Kühlhaus +/- 0,8. Betrachtet man jedoch den minimalen und maximalen Temperaturwert, dann liegen diese z. T. deutlich über der Soll-Lagertemperatur. So ist in der Versuchsreihe 7 ein Temperaturmaximum von 9,1 °C, bei einer Soll-Temperatur von 2,0 °C zu beobachten. Der Temperatur-Mittelwert lag jedoch mit 2,2 °C kaum über der Soll-Temperatur.

Tab.8: Übersicht über die Durchschnittstemperaturen, Standardabweichung, minimale und maximale erreichte Temperaturen in den Kühlhäusern

Soll-Temperatur (°C)	Mittelwert (°C)	Standardabweichung ($\bar{x} \pm s$)	Maximum (°C)	Minimum (°C)
2	1,9	0,3	6,8	1,4
2	1,90	0,2	3,9	1,2
2	2,0	0,6	6,6	1,2
2	2,0	0,7	1,2	5,5
2	2,1	0,7	12,7	1,4
2	2,2	0,8	9,1	1,4
4-5	3,7	1,1	9,4	1,5
4-5	4,8	0,8	6,7	3,0
4-5	4,9	0,7	8,0	3,1
4-5	4,8	0,4	7,2	3,9
6-7	6,4	0,9	16,6	2,4
6-7	6,6	0,2	7,8	6,2
6-7	6,5	0,2	7,3	6,0

Fazit:

Die Ergebnisse zeigen, dass die Temperaturen in den Kühlhäusern nahezu die Soll-Temperatur einhalten. Abweichungen sind nur kurzfristig zu verzeichnen und dadurch zu erklären, dass z.B. in den Kühlhäusern neues Fleisch eingelagert bzw. Fleisch entnommen werden muss.

3.2 Ergebnisse zum Entfärbeverhalten der Temperatur-Zeit-Integratoren

3.2.1 Verfärbeverhalten von Zeit-Temperatur-Integratoren in Abhängigkeit von der Aufladezeit

Die TTIs wurden 15 bzw. 30 sec aufgeladen und anschließend in den unterschiedlichen Kühllhäusern (2 °C, 4°C oder 6°C) über mehrere Tage gelagert (Tab. 9). Zur Temperaturkontrolle kamen Datenlogger zum Einsatz, wie auch schon unter Kapitel 3.1 beschrieben. In der Regel wurden pro Zeitintervall 6 TTIs untersucht und nach unterschiedlich langer Lagerdauer, d. h. zwischen 144 und 336 h, der Farbwert abgelesen. Vergleicht man die Temperatur-Zeit-Integratoren bei einer Aufladezeit von 15 sec und einer Lagertemperatur von 2 +/- 0,2 °C, so lagen die TTI-Farbwerte zwischen 4 - 7 nach einer Lagerdauer von 168 h. Bei längeren Lagerzeiten traten diese Schwankungen nicht mehr so deutlich auf. So wurden nach 216 h alle TTIs mit dem Farbwert 7 beurteilt, nach 240 h waren sie vollkommen entfärbt. Bei dem Kühlhaus mit der Soll-Temperatur von 4 - 5°C waren die TTIs bereits nach 216 h vollkommen entfärbt, bei 6,5 °C bereits nach 144 h.

Bei einer Aufladezeit von 30 sec traten bei einer Lagertemperatur von 2°C kaum Schwankungen auf, so wurden fast alle Integratoren nach 168 h mit dem Farbwert 4 bewertet. Auch nach ansteigender Lagerdauer zeigt sich ein kontinuierliches Entfärbeverhalten. Gleiches war auch bei höheren Temperaturen zu beobachten.

3.2.2 Vergleich der gemessenen TTI-Farbwerte mit den Simulationswerten unter Berücksichtigung verschiedener TTI-Aufladezeiten

Bei einer Lagertemperatur von 2 +/-0,2 °C lagen die abgelesenen und die über das Simulationsmodell vorhergesagten TTI-Farbwerte dicht beieinander oder waren identisch. So wurde bei einer Aufladezeit von 15 sec und einer Lagerzeit von 168 h durch das Simulationsmodell ein TTI-Farbwert von 6 ermittelt und die real gemessenen Werte lagen zwischen 5 und 7. Gleiches ist auch bei einer Aufladezeit von 30 sec. Auch hier lagen die realen Farbwerte mit 4 in der Regel nahe an den vorhergesagten TTI-Farbwerten von 5. Auch bei einer längeren Lagerzeit lagen die Simulations- und die gemessenen TTI-Farbwerte dicht beieinander. Diese Aussagen konnten sowohl bei einer Aufladezeit von 15, als auch bei einer von 30 sec bestätigt werden.

Betrachtet man die Lagerzeit von 4°C bzw. 6°C konnten auch hier die Ergebnisse verifiziert werden. So liegt bei 4°C und einer Lagerzeit von 240 h der reale TTI-Farbwert bei 8 - der über das Simulationsmodell vorhergesagte zwischen 7 und 8. Gleiches gilt z.B. auch bei einer Lagerzeit von 220 h und 6°C. Hier sind die berechneten und die real gemessenen TTI-

Farbwerte ebenfalls nahezu identisch. Zudem konnte auch bei diesen Versuchen bestätigt werden, dass die Aussagefähigkeit der Simulationswerte sowohl bei einer Aufladezeiten von 15, als auch bei einer von 30 sec gleich gut ist.

Tab. 9: Übersicht über die abgelesene und berechnete Farbwerte des Temperatur-Zeit-Integrators bei verschiedenen Temperaturen und Laufzeiten in Abhängigkeit von der Aufladezeit

Laufzeit TTI (h)	Lager-temperatur (°C)	Aufladung 15 sec		Aufladung 30 sec	
		Gemessener Farbwert	Berechneter Farbwert	Gemessener Farbwert	Berechneter Farbwert
144	1,9	6	5-6	4	5
168	1,9	6	6	4	5
168	1,9	5	6	4	5
168	2,1	7	6	4	5
168	2,0			4	5
168	2,2	4-6	6		
168	2,0	5-6	6		
168	2,2			4-5	5
168	2,8			5	5
192	2,0	6	6-7	5	5
216	2,1	7	7	6	6
216	2,0	7	7	6	6
216	2,0	7	7	6	6
240	2,1	8	7-8	7	6
336	2,0	8	7-8	8	8
168	3,7	7	7	6	5
216	3,7	8	7-8	7	6-7
240	3,7	8	7-8	8	7-8
168	4,5			6	6
168	4,8			6	6
144	6,5	8	7-8	7-8	7
168	6,6	8	7-8	7-8	7-8
168	6,4	8	7-8	7-8	7-8
220	6,4	8	7-8	8	7-8
240	6,4	8	7-8	8	7-8

Fazit:

Es zeigte sich aus den dargestellten Daten, dass die TTI-Farbwerte, welche mit Hilfe des Simulationsmodells berechnet wurden, in den meisten Fällen nahezu mit den real gemessenen TTI-Farbwerten übereinstimmten. Die Unterschiede, die bei einigen Messungen auftraten, können durch individuelle Farbabweichungen des TTI-Materials erklärt werden. Zudem wurden die Farbskalen von verschiedenen Personen abgelesen, so dass durch persönliche Eindrücke Abweichungen in der Beschreibung der TTI-Farbintensität auftreten können. Auch die Vergleichsfarbskala selbst könnte ebenfalls eine Ursache sein, da die Farben noch nicht exakt mit denen der Entfärbestufen des TTIs übereinstimmen.

3.3 Ergebnisse zur Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien

3.3.1 Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit bei Schweinefleisch

Es wurden Lagerversuche mit aerob und vakuumverpacktem Schweinefleisch durchgeführt und sowohl die Anfangskeimzahl (Impedanz-Keimzahl), als auch der Sensorik-Index bestimmt. Tabelle 10 zeigt die gemessene Impedanz-Keimzahl und den Sensorik-Index bei unterschiedlicher Lagerzeit und -temperatur in Abhängigkeit von der Verpackungsart. Bei jeder Versuchsreihe wurden 3 Proben vakuum-, drei aerob verpackt. Bei der Lagerzeit ist zu berücksichtigen, dass das Fleisch nicht immer unmittelbar nach der Schlachtung zur Verfügung stand, sondern schon einige Tage alt war. Das Alter bei erstmaliger Probenentnahme zur Bestimmung des Anfangskeimgehalts bis zum Ende der Lagerung ist in den nachfolgenden Tabellen in Klammern angegeben. Vor Versuchbeginn lagerten die Fleischproben bei 2°C

Am Versuchende waren sowohl bei 2°C als auch bei 4°C die Impedanz-Keimzahlen für aerob verpackte Ware über denen der vakuumverpackten. Bei vakuumverpacktem Material lag der maximale Keimgehalt bei einer Lagertemperatur von 2 +/- 0,2°C nach 216 h bei 6,4 KbE/g. Bei aerob verpacktem Fleisch wurden bei gleicher Lagerzeit und Temperatur Werte von 7,4 KbE/g erreicht. Auch bei einer Lagertemperatur von 4°C lagen die Impedanz-Keimzahlen bei aerob verpacktem Schweinefleisch höher als bei den vakuumverpackten Proben. Bei einem Ausgangskeimgehalt von ca. 4 KbE/g erreichten die Impedanz-Keimzahlen nach 216 h bei vakuumverpacktem Material Werte zwischen 6,1 und 6,6 KbE/g, bei aerob verpackten Proben jedoch Maximalwerte von 7,6 KbE/g. Diese Diskrepanz konnte auch nach 240 h beobachtet werden. Auffällig war, dass bei der verpackten Ware unter Sauerstoffreduzierung die Keimzahlen deutlich weniger schwankten als bei der aerob verpackten Ware.

Betrachtet man die sensorische Auswertung der Lagerversuche konnte auch hier ein deutlicher Unterschied zwischen dem unterschiedlich verpackten Schweinefleisch festgestellt werden. Der Sensorik-Index für vakuumverpacktes Fleisch war bei gleicher Lagertemperatur und -zeit deutlich höher.

Am Versuchsende waren alle aerob verpackten Proben verdorben, bei den vakuumverpackten Proben nur vereinzelte.

Tab. 10: Impedanz-Keimzahlen und Sensorik-Index bei verpacktem und unverpacktem Schweinefleisch

Lagerzeit (h)	Lager-temperatur (°C)	Anfangs-Keimgehalt (KbE/g)	Impedanz-Keimzahl (log KbE/g)		Sensorik-Index	
			aerob verpackte Ware	verpackte Ware	aerob verpackte Ware	verpackte Ware
216 (168)	2,2	4,7	4,9 – 6,4	5,2 – 6,4	1 – 1,4	1,2 – 2
216 (168)	2,2	0,3	4,3 – 7,4	4,3 – 5,2	1,2	2 – 2,4
216 (168)	2,8	5,1		5,2 – 5,7		3
240 (168)	2,0	4,2	6,1	4,4	1,4	2
216 (168)	4,5	4,0	7,3 – 7,6	6,1 – 6,4	1,2 – 1,6	1,6 – 2
240 (168)	4,8	4,2	7,1	6,6	1,2	1,6

() = Alter bei erstmaliger Probenentnahme bis zum Ende der Lagerung

3.3.2 Vergleich der gemessenen produktspezifischen Untersuchungskriterien mit den Simulationswerten bei Schweinefleisch

Die Berechnungen konnten nur für aerob verpackte Ware erfolgen, weil das erstellte Modell bisher nur für diese Art Ware gültig ist. Anhand der Temperatur-Zeit-Funktionen ist es mit dem derzeitigen Modell nicht möglich Berechnungen für wechselnde Temperaturen durchzuführen. Bei den Versuchsreihen von 4,5°C und 6,5°C wurde bei den berechneten Werten davon ausgegangen, dass das Fleisch direkt nach der Lagerung bei den in der Tabelle angegebenen Temperaturen lagerte, die vorherige Lagerung bei 2°C (siehe Tab. 10) wurde nicht berücksichtigt. Bei Temperaturen über 2°C werden die berechneten Werte demzufolge leicht überschätzt. Gleiches gilt auch für Geflügelfleisch.

Es wurden Untersuchungen mit Ware bei 216 bzw. 240 h und bei 2°C und 4°C durchgeführt. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die gemessenen Werte und die über das Simulationsmodell errechneten Werte gut miteinander korrelieren. So lag bei 2 +/- °C der gemessene Wert für 216 h zwischen 4,3 und 7,4 KbE/g der berechnete bei 5,5 Ähnliches war bei 240 zu beobachten, wo der ermittelte Wert bei 6,0 KbE/g und der berechnete bei 5,7 KbE/g lag. Diese gute Übereinstimmung konnte auch bei einer Lagertemperatur von 4,5 +/- 0,3 °C festgestellt werden.

Tab. 11: Vergleich zwischen gemessenen Impedanz-Keimzahlen und den auf Basis der Zeit-Temperatur-Funktion errechneten Werten

Lagerzeit (h)	Lagertemperatur (°C)	Impedanz-Keimzahl (log KbE/g)		Unteres Konfidenzintervall	Oberes Konfidenzintervall
		Gemessenen	Berechnet		
216	2,2	4,9-6,4	5,5	5,1	5,7
216	2,2	4,3-7,4	5,5	5,1	5,7
240	2,0	6,1	5,7	5,4	6,1
216	4,5	7,3-7,6	6,5	6,3	7,2
240	4,8	7,1	7,0	6,4	7,7

Es wurde ebenso eine Vergleichsuntersuchung zwischen den gemessenen und den durch das Modell vorhersagbaren Sensorik-Werten durchgeführt. In der Tab.12 sind die Ergebnisse dargestellt.

Tab. 12: Vergleich zwischen erfassten Sensorik-Index und den auf Basis der Zeit-Temperatur-Funktion errechneten Werten

Lagerzeit (h)	Lager-temperatur (°C)	Sensorik-Index		Unteres Konfidenzintervall	Oberes Konfidenzintervall
		Erfasst	Berechnet		
216	2,2	1-1,4	1,7	1,6	1,9
216	2,2	1,2	1,7	1,6	1,8
216	2,8		1,5	1,4	1,6
240	2,0	1,4	1,5	1,4	1,6
216	4,5	1,2-1,6	1,0	--	--
240	4,8	1,2	1,0	--	--

Auch hier fanden Untersuchungen bei 2 und 4°C statt und die Probennahme erfolgte bei 216 bzw. 240 h. Bei beiden Lagertemperatur von 2 +/-0,2°C lagen die gemessenen Werte für den Sensorik-Index leicht unter den berechneten, bei 4°C leicht darüber.

Fazit:

Aus den Untersuchungen ging hervor, dass zwischen aerob und vakuumverpackter Ware Unterschiede bestehen in Bezug auf die Impedanz-Keimzahl und den Sensorik-Index. Die aerob verpackte Ware zeigte einen schnelleren Verderb, was sich in höheren Impedanz-Keimzahlen bzw. einem niedrigeren Sensorik-Index widerspiegelte. Ursache dabei ist, dass es durch die Art der Verpackung zu einer Verschiebung der mikrobiologische Flora kommen kann. So wird durch Vakuumverpackungen, wie schon in der Literatur beschrieben, das Wachstum grampositiver Bakterien gefördert, während andere Bakterien dadurch gehemmt werden.

Bei den gemessenen Impedanz-Keimzahlen sind große Schwankungen im Bereich des Anfangs- und Endkeimgehalt erkennbar. Um statistisch gesicherte Aussagen treffen zu können, müssen in Zukunft weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Vergleicht man die gemessenen mit den berechneten Werten der Impedanzkeimzahl bei unverpacktem Schweinefleisch, so zeigen sich eine gute Übereinstimmungen, wodurch im Schweinefleischbereich eine gute Vorhersage bezüglich des Verderbs vorgenommen werden kann.

Beim Sensorik-Index treten zwischen dem abgelesenen und dem berechneten Wert geringe Abweichungen auf. Ursache hierfür könnte sein, dass bei den im Labormaßstab untersuchten Fleischproben die mikrobiologische Flora leicht unterschiedlich war zu der im Pilotversuch, dadurch kann ein anderes sensorisch wahrnehmbares Verderbsmuster auftreten.

3.3.3 Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit bei Geflügelfleisch

Parallel zu den Schweinefleischversuchen wurden Lagerversuche mit aerob und vakuumverpacktem Geflügelfleisch durchgeführt. Sowohl die Impedanz-Keimzahl, *Pseudomonas*, *Enterobacteriaceae* und Sensorik-Index gingen als Messgrößen in die Untersuchungen ein.

Tabelle 13 stellt die Werte der Impedanz-Keimzahl und des Sensorik-Index bei unterschiedlicher Lagerzeit und Temperatur in Abhängigkeit von der Verpackung dar. Wie auch schon beim Schweinefleisch lagen die Impedanz-Keimzahlen bei der aerobverpackten Ware deutlich über denen der vakuumverpackten Fleischproben. Betrachtet man die sensorische Auswertung der Lagerversuche, konnte auch hier ein deutlicher Unterschied zwischen den Verpackungsarten des Geflügelfleisches festgestellt werden. Der Sensorik-Index für vakuumverpacktes Fleisch war bei gleicher Lagertemperatur und -zeit deutlich höher, als bei aerob verpackten Proben.

Am Ende der Lagerung waren alle aerob verpackten Fleischproben verdorben, bei den vakuumverpackten waren nur vereinzelte Proben verdorben.

Tab.13: Impedanz-Keimzahlen und Sensorik-Index bei verpacktem und unverpacktem Geflügelfleisch

Lagerzeit (h)	Lager-temperatur (°C)	Anfangs-Keimgehalt (KbE/g)	Impedanz-Keimzahl (log KbE/g)		Sensorik-Index	
			Aerob verpackte Ware	Vakuum-verpackte Ware	Aerob verpackte Ware	Vakuum-verpackte Ware
168 (144)	1,9	0,4	3,9-5,2	2,9-3,8	1,6-1,8	2-3
168	2,0	2,1	6,4-8,2	4,4-5,5	1,4-2,0	2,0-2,8
168	2,0	0,7		4,5-5,9		1,6-2,6
240 (168)	1,9	2,4	7,1-7,6	6,1-7,6	1	2
336	2,0	2,1	8,4-9,7	6,4-7,3	1,2	1,4-2,0
168 (144)	6,5	4,5	7,0-7,5	5,4-7,0	1-1,6	1,6-2,0
240	6,6	2,1	6,6-9,2	6,8-7,7	1-1,2	1-2,0

() = Alter bei erstmaliger Probenentnahme bis zum Ende der Lagerung

Als verderbsspezifische Keime wurden bei Geflügelfleisch weiterhin *Pseudomonas* und *Enterobacteriaceae* bestimmt (Tab.14). Auch wurde bei einigen vakuumverpackten Proben der *Lactobacillen* Keimgehalt ermittelt. Es zeigte sich jedoch, dass die Werte meistens unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Aus diesem Grund wurden sie in die folgenden Untersuchungen nicht mit einbezogen. Betrachtet man die Koloniebildenden Einheiten von *Pseudomonas* am Ende der Lagerung, so liegen diese sowohl bei vakuum- als auch bei aerob verpackter Ware deutlich über den entsprechenden Anfangskeimgehalten. Die Zunahme differiert jedoch bei vakuum- und aerob verpackter Ware dahingehend, dass bei der aeroben Verpackung die Werte über denen der vakuumverpackten liegen. Bei den *Enterobacteriaceae* ist auch ein Anstieg der Keimzahlen im Laufe der Lagerung zu beobachten. Jedoch ist kein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Verpackungsarten erkennbar. Die Differenzen in der Höhe des Keimgehalts können daher nicht ursächlich auf die Verpackung zurückgeführt werden, sondern resultieren aus der normalen Schwankungsbreite, die Mikroorganismen bei Wachstum zeigen.

Tab.14: Ermittelte Keimzahlen von *Pseudomonadaceae* und *Enterobacteriaceae* bei verpacktem und unverpacktem Geflügelfleisch

Lagerzeit (h)	Lagertemperatur (°C)	Anfangs-Keimgehalt Ps. (KbE/g)	<i>Pseudomonas</i> (log KbE/g)		Anfangs-Keimgehalt Eb. (log KbE/g)	<i>Enterobacteriaceae</i>	
			Aerob verpackte Ware	Vakuum verpackte Ware		Aerob verpackte Ware (log KbE/g)	Vakuum verpackte Ware (log KbE/g)
168 (144)	1,9	1,6	4,5-4,8	--	2,7	3,3-3,8	2,7
168	2,0	u Ng	5,3-6,9	1,8-2,0	u Ng	2,4-3,8	u NG
168	2,0	1,7	--	3,0-3,6	u Ng		1,3-2,7
240 (168)	1,9	2,5	9,5	2,5-3,6	--	3,6-4,3	2,7-3,9
336	2,0	u NG	--	u Ng	u Ng	4,5-6,9	2,7-2,8
168 (144)	6,5	u NG	6,6-6,8	--	2,5	4,6-5,4	2,6-5,4
240	6,6	2,2	4,1-5,4	u Ng	u Ng	3,9-6,2	4,1-5,5

Ps. = *Pseudomonadaceae*, Eb. = *Enterobacteriaceae*, u Ng = unter Nachweisgrenze
() = Alter bei erstmaliger Probenentnahme bis zum Ende der Lagerung

3.3.4 Vergleich der gemessenen produktspezifischen Untersuchungskriterien mit den Simulationswerten bei Geflügelfleisch

Wie schon beim Schweinefleisch konnten die Berechnungen nur für aerob verpackte Ware durchgeführt werden. Vergleicht man die gemessenen und berechneten Impedanz-Keimzahlen bei einer Lagerzeit von 168 h und 2 +/- 0,2 °C, so liegen die berechneten Impedanz-Keimzahlen im Bereich von 5,5 – 6,1 KbE/g. Die gemessenen hingegen streuen von 3,9 – 8,2 KbE/g. Unter Einbeziehung der einzelnen Messwerte war jedoch zu erkennen, dass der Großteil der Proben in dem vom Modell vorhergesagten Bereich lag und nur einzelne Werte extreme Abweichungen zeigten. Dies konnte auch für die Proben, die nach 240 h bzw. 336 h untersucht wurden, bestätigt werden. Bei einer Lagertemperatur von 6,5 °C und einer Lagerzeit von 240 h befinden sich die berechneten Keimzahlen deutlich über denen der gemessenen. Begründet ist dies dadurch, dass die Werte außerhalb des Gültigkeitsbereichs des Modells liegen.

Tab.15: Vergleich zwischen gemessenen Impedanz-Keimzahlen und den auf Basis der Zeit-Temperatur-Funktion errechneten Werten

Lagerzeit (h)	Lagertemperatur (°C)	Impedanz-Keimzahl (KbE/g)		Unteres Konfidenzintervall	Oberes Konfidenzintervall
		Gemessenen	Berechnet		
168	1,9	3,9-5,2	5,7	5,4	6,0
168	2,0	6,4-8,2	5,9	5,5	6,1
240	1,9	7,1-7,6	7,0	6,5	7,7
336	2,0	8,4-9,7	8,1	7,2	9,0
168	6,5	7,0-7,5	9,6	8,9	10,2
240*	6,6	6,6-9,2	12,9	10,7	14,9

* = diese vorhergesagten Werte befinden sich nicht mehr im Gültigkeitsbereich des Modells, sie weichen dementsprechend erheblich von den anderen Daten ab

In Tabelle 16 ist der Vergleich der gemessenen und berechneten *Pseudomonas* Keimzahlen zu sehen. Die *Pseudomonas* Keimzahlen wurden bei 2 °C nach 168 h und 240 h bestimmt. Die gemessenen Keimzahlen lagen bei 168 h im Bereich von 4,5 – 6,9 KbE/g, bei 240 h waren Werte bis zu 9,5 KbE/g zu finden. Während die Keimzahlen nach 168 h unter den berechneten Werten liegen (7,64 – 8,2 KbE/g), stimmen die Werte für 240 h gut mit den Modelldaten (9,2 – 9,9 KbE/g) überein. Bei einer höheren Temperatur von 6,5°C und einer Lagerzeit von 168 h liegen die berechneten Daten mit 9,9 – 10,9 KbE/g über den gemessenen (6,6 – 6,8).

Tab.16: Vergleich zwischen ermittelten *Pseudomonas*-Keimzahlen und den auf Basis der Zeit-Temperatur-Funktion errechneten Werten

Lagerzeit (h)	Lager-temperatur (°C)	<i>Pseudomonas</i> (log KbE/g)		Unteres Konfidenz-intervall	Oberes Konfidenz-intervall
		Gemessenen	Berechnet		
168	1,9	4,5-4,8	7,9	7,6	8,2
168	2,0	5,3-6,9	7,9	7,6	8,2
240	2,0	9,5	9,5	9,2	9,9
168	6,5	6,6-6,8	10,4	9,9	10,9

Auch für die Keimzahlen von *Enterobacteriaceae* wurde auf Basis von Temperatur-Zei-Funktionen ein Vergleich zwischen ermittelten und berechneten Werten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 dargestellt. Bei allen Lagerzeiten und –temperaturen sind die berechneten Keimzahlen deutlich höher als die gemessenen Werte. So liegt beispielsweise der gemessene Wert für 168 h bei einer Temperatur von 2+/- 0,2 °C zwischen 1,3 – 3,8 KbE/g, der berechnete hingegen zwischen 4,6 – 5,1 KbE/g.

Tab.17: Vergleich zwischen ermittelten *Enterobacteriaceae*-Keimzahlen und den auf Basis der Zeit-Temperatur-Funktion errechneten Werten

Lagerzeit (h)	Temp (°C)	<i>Enterobacteriaceae</i> (log KbE/g)		Unteres Konfidenz-intervall	Oberes Konfidenz-intervall
		Gemessenen	Berechnet		
168 (144)	1,9	3,3-3,8	4,8 (4,5)	4,6 (4,5)	5,1(4,8)
168	2,0	2,4-3,8	4,9	4,6	5,1
168	2,0	1,3-2,7	4,9	4,6	5,1
240 (168)	1,9	3,6-4,3	5,9	5,5	6,2
336	2,0	4,5-6,9	7,32	6,5	8,1
168 (144)	6,5	4,6-5,4	9,3(7,5)	8,7(7,2)	9,9(7,8)
240*	6,6	3,9-6,2	12,9	11,2	14,8

* = diese vorhergesagten Werte befinden sich nicht mehr im Gültigkeitsbereich des Modells, sie weichen dementsprechend erheblich von den anderen Daten ab

In Tabelle 18 wird der erfasste Sensorik-Index dem auf Basis von Temperatur-Zeit-Funktionen berechneten gegenübergestellt. Sowohl im niedrigen Temperaturbereich, als auch bei höheren Lagertemperaturen zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und erfassten Sensorikwerten.

Tab.18: Vergleich zwischen erfassten Sensorik-Index und den auf Basis der Zeit-Temperatur-Funktion errechneten Werten

Lagerzeit (h)	Lagertemperaturen (°C)	Sensorik-Index		Unteres Konfidenzintervall	Oberes Konfidenzintervall
		Erfasst	Berechnet		
168	1,9	1,6-1,8	1,8	1,7	1,9
168	2,0	1,4-2,0	1,8	1,7	1,9
168	2,0	1,6-2,6	1,8	1,7	1,9
240	1,9	1,0	1	1,0	1,2
336	2,0	1,2	1,3	1,0	1,6
240	6,5	1-1,2	1,0	1,0	1,0
168	6,6	1-1,6	1,0	1,0	1,1

Fazit:

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass durch den Sensorik-Index und die Impedanz-Keimzahl sich der Frischeverlust gut charakterisieren lässt. Die Untersuchungen haben weiterhin ergeben, dass bei vakuumverpacktem Geflügelfleisch der Verderb langsamer fortschreitet als bei aerob verpackter Ware, was sich in niedrigeren Keimzahlen und einem höheren Sensorik-Index widerspiegelt. Bei den gemessenen Keimzahlen sind große Schwankungen im Bereich des Anfangs- und Endkeimgehalt erkennbar. Um statistisch gesicherte Aussagen treffen zu können, müssen in Zukunft weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

Vergleicht man die gemessenen mit den berechneten Werten so zeigen sich bei der Impedanz-Keimzahl und dem Sensorik-Index gute Übereinstimmungen. Bei den Keimzahlen von *Pseudomonas* und *Enterobacteriaceae* hingegen lagen die berechneten Werte deutlich über den gemessenen. Ursache für diesen Sachverhalt könnten die unterschiedlichen Ausgangsbedingungen der Laborversuche und des Pilotversuches sein. Das Geflügelfleisch wurde beim Pilotbetrieb verpackt angeliefert. Daher ist mit einer anderen Ausgangskeimflora zu rechnen als bei unverpacktem Fleisch, wie es bei den Versuchen im Labormaßstab verwandt wurde. Ausgehend von Versuchen im Labormaßstab wurden jedoch die Modelle erstellt. In diesem Bereich müsste somit eine Anpassung des Modells stattfinden.

3.4 Vergleichsuntersuchungen zwischen Verfärbung der Integratoren und produktspezifischen Untersuchungskriterien bei Schweine- und Geflügelfleisch

Tabelle 19 gibt eine Übersicht über Verfärbung der Integratoren und die Veränderung produktspezifischer Untersuchungskriterien (Impedanz-Keimzahl, Sensorik-Index) bei aerob- und vakuumverpacktem Schweine- und Geflügelfleisch. Die Werte stehen in Abhängigkeit zur Lagerzeit und -temperatur. Zur Berücksichtigen ist hierbei, dass nicht alle Versuchsreihen aufgeführt werden konnten, weil in einigen das Fleisch bei Versuchsbeginn nicht unmittelbar nach der Schlachtung zur Verfügung stand, sondern schon einige Tage alt war. Daraus resultierte eine Differenz zwischen dem Alter des Fleisches und der Laufzeit der TTIs.

Aus den Daten geht hervor, dass bei unverpackter und verpackter Ware sowie einer TTI-Aufladezeit von 15 sec die Verfärbung des Integrators den Verderb sowohl des Schweine- als auch des Geflügelfleisches anzeigte. Ausnahme hiervon bildet die Versuchsreihe für unverpacktes Fleisch bei 2 +/-0,2°C und 168 h. Hier ist der Integrator zum Zeitpunkt des mikrobiologischen und sensorisch erfassbaren Verderbs noch nicht vollständig entfärbt. Es zeigte sich, dass eine Aufladezeit des TTIs von 30 sec für beide Fleisch- und Verpackungsarten zu lang war und die Verfärbung des Integrators nicht exakt den Verderbsstatus des Fleisches wiedergeben konnte.

Tab.19: Übersicht über die Verfärbung der Integratoren und produktspezifischen Untersuchungskriterien bei Schweine- und Geflügelfleisch

Lagerzeit (h)	Lager-temperatur (°C)	Fleisch-art	Aerob verpackte Ware		vakuumverpackte Ware		Verfärbung Integrator	
			Impedanz-Keimzahl (log KbE/g)	Sensorik-Index	Impedanz-Keimzahl (log KbE/g)	Sensorik-Index	Aufladezeit 15 sec	Aufladezeit 30 sec
216	2,0 – 2,2	S	4,3 – 7,4	1- 1,4	4,3 – 6,4	1,2 -2,4	7	6
240	2,0	S	6,1	1,4	4,4	2	8	7
168	2	G	3,9 – 8,2	1,6 – 2,0	2,9-5,9	2,0 - 3	4-6	4
240	2	G	7,1-7,6	1	6,1-7,6	2	8	7
336	2,0	G	8,4-9,7	1,2	6,4-7,3	1,4-2,0	8	8
168	6,5	G	7,0-7,5	1-1,6	5,4-7,0	1,6-2,0	8	7-8
240	6,5	G	6,6-9,2	1-1,2	6,8-7,7	1-2,0	8	8

S= Schwein, G = Geflügelfleisch

Fazit:

Es wurden Vergleichsuntersuchungen zwischen produktspezifischen Verderbskriterien und der Aussagefähigkeit der TTIs in Bezug auf den Verderb durchgeführt. In die Untersuchungen gingen auch unterschiedliche TTI-Aufladezeiten ein. Bei einer Aufladezeit von 15 sec konnte der Frischeverlust des Fleisches (unabhängig von der Verpackungsart) durch das Verfärbeverhalten des Integrators in den Versuchsreihen gut bestimmt werden. Eine Aufladezeit von 30 sec wäre für beide Verpackungsarten zu lang. Da vakuumverpackte Ware jedoch eine längere Haltbarkeit aufweist als aerob verpacktes, sollten weitere Untersuchungen mit anderen Aufladezeiten (z. B. 20 sec) durchgeführt werden.

Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens des Projektes ist das bisher untersuchte Datenmaterial sehr begrenzt. Deshalb sind weitere Pilotversuche notwendig, um die statistische Absicherung der Untersuchungen zu gewährleisten bzw. um die Möglichkeit zu schaffen, die jeweiligen Startbedingungen für die Vorhersage der Haltbarkeitsdauer im Modell variieren zu können.

4 Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war es zu prüfen, in wie weit durch das Anbringen von Zeit-Temperatur-Indikatoren auf dem Etikett von SB-Waren Verpackung (Selbstbedienungs-Ware) eine Überprüfung der Einhaltung der Kühlkette vom Produzenten bis zum Verbraucher möglich ist. Hierzu wurden in Zerlege- und Verpackungsbetrieben einzelne Chargen mit Temperatur-Integrator-Etiketten versehen und bis zur Auslieferung zum Großkunden die Prozessschritte in der Kühlkette nachvollzogen. Modellhaft wurde SB-Waren Verpackung für frisches Schweine- und Geflügelfleisch untersucht und dabei gleichzeitig die Auswirkungen einer aeroben und aneroben Verpackung auf den Frischeverlust berücksichtigt. Weitere Untersuchungsvarianten waren unterschiedliche Aufladezeiten des Integrators (15 und 30 sec). Die Daten stellen die Grundlage zur Validierung eines Simulationsmodells dar, welches in einem bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben entwickelt wurde. Mit diesem Modell lassen sich Prognosewerte für die Kühlkettenüberwachung vorhersagen. Diese Werte beziehen sich zum einen auf die Vorschätzung der Haltbarkeitsdauer, zum anderen auf das Entfärbeverhalten unterschiedlicher TTI-Varianten.

Die Untersuchungen zu den TTI-Farbwerten zeigten, dass die gemessenen mit denen über das Simulationsmodell berechneten Farbwerten in den meisten Fällen nahezu übereinstimmten. Die Unterschiede, die bei einigen Messungen auftraten, können z. B. durch individuelle Farbabweichungen des TTI-Materials bzw. durch die Vergleichsfarbskala erklärt werden, deren Farben noch nicht exakt mit denen der Entfärbestufen des TTIs übereinstimmen.

Sowohl beim Schweine- als auch beim Geflügelfleisch ist der Frischeverlust durch den Messparameter Sensorik-Index und Impedanz-Keimzahl charakterisiert worden.

Die vakuumverpackte Ware wies eine längere Haltbarkeit auf als die aerob verpackte. Zu vermuten ist, dass es durch die Art der Verpackung zu einer Verschiebung der mikrobiologischen Flora kommen kann. So wird durch Vakuumverpackungen das Wachstum grampositiver Bakterien gefördert, während andere Bakterien dadurch gehemmt werden.

Der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Werten aus dem Simulationsmodell bezüglich der Impedanz-Keimzahl und des Sensorik-Index ergab bei Schweine- und Geflügelfleisch insgesamt gute Übereinstimmungen bis auf wenige Abweichungen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Modelle aufgrund von Versuchen im Labormaßstab erstellt wurden, die andere Ausgangsbedingungen hatten, als die in den Pilotketten. In diesem Bereich müssten somit Anpassungen des Modells stattfinden.

In den Vergleichsuntersuchungen produktspezifischer Verderbskriterien und dem Entfärbeverhalten des TTIs konnte dargestellt werden, dass bei einer Aufladezeit von 15 sec der Frischeverlust des Fleisches (unabhängig von der Verpackungsart) durch das Verfärbeverhalten des Integrators in den Versuchsreihen gut bestimmt werden konnte. Eine

Aufladezeit von 30 sec wäre für beide Verpackungsarten zu lang. Da vakuumverpackte Ware jedoch eine längere Haltbarkeit aufweist als aerob verpacktes, sollten weitere Untersuchungen mit anderen Aufladezeiten (z. B. 20 sec) durchgeführt werden.

Grundsätzlich erfüllt der getestete Integrator Bayreuth/Haifa damit die Voraussetzungen, als zusätzliches Kontrollinstrument zur Beurteilung des Frischezustands der verbleibenden Haltbarkeit zu fungieren

5 Schlussfolgerungen für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Trotz modernster Techniken im Bereich der Temperaturerfassung konnten bislang keine zufriedenstellenden Methoden entwickelt werden, die eine kostengünstige, kontinuierliche sowie produktbegleitende Temperaturüberwachung, wie sie im Rahmen von HACCP-Konzepten eine bedeutende Rolle spielen, möglich machen. Für Kühlketten und Kühltheken gibt es bereits rechtliche Vorgaben und Grenzwerte. Ein Überschreiten dieser Werte z. B. beim Transport und Warenumschlag ist für viele Vorgänge des Verderbs und der Qualitätseinbuße verantwortlich, so dass eine regelmäßige „produktbegleitende“ Temperaturüberwachung unabdingbar ist. Die Aufbringung von Zeit-Temperatur-Indikatoren könnte somit eine herausragende Bedeutung im Sinne einer Qualitätssicherung erlangen. Durch Zeit-Temperatur-Indikatoren wird es Herstellern und Lieferanten von frischen verpackten Lebensmitteln ermöglicht, dem jeweiligen Kunden in der Kette die korrekte Handhabung des angelieferten Produktes bezüglich der Temperatur durch eine einfache und preisgünstige Methode darzulegen. Gleichzeitig wird dem Kunden die Möglichkeit gegeben, die Frische der angelieferten Ware zu beurteilen. Auch für den Verbraucher könnten schließlich diese Indikatoren eine wertvolle Hilfe sein, um den Frischezustand bzw. die verbleibende Haltbarkeit des Produktes im eigenen Haushalt zu beurteilen.

6 Literaturverzeichnis

- 3M Laboratories (2002):
Produktinformationen der Firma
Internet: www.3m.com, Stand: April 2003
- ALMONACID-MERINO S.F., TORRESE J.A. (1993):
Mathematical models to evaluate temperature abuse effects during distribution of refrigerated solid foods
J. Food. Eng., 20, 223- 245
- Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (1997).
- BAILEY J. S., REAGAN J. O., CARPENTER J. A., SCHULER G. A. (1979):
Microbiological condition of broilers as influenced by vacuum and carbone dioxide in bulk shipping packs
J. Food Science (44), 134-137
- BARNES E.M. (1976):
Microbiological Problems of poultry at refrigerator temperatures – a review
J. Sci. Fd. Agric., 27, 777 – 782
- BAUMGART J. (1999):
Mikrobiologische Untersuchung von Lebensmitteln
4 aktual. Aufl., Behr's Verlag
- BEM Z., HECHELMANN H. (1994):
Kühlung und Kühllagerung von Fleisch – Mikrobiologische Vorgänge
Fleischwirtsch. 74 (9), 916-924.
- BgVV - Bundesinstitut für gesundheitl. Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (1999):
Temperaturanforderungen und –empfehlungen für Lebensmittel
Informationsschrift
- BOHNSACK U., KNIPPEL G., HÖPKE H.-U. (1987):
Der Einfluss einer CO₂- Atmosphäre auf die Haltbarkeit von frischem Geflügel
Fleischwirtschaft (67) 9, 1131-1136
- BORCH E., KANT-MUERMANS M.L., BLIXT Y. (1996):
Bacterial Spoilage of meat and cured meat products
Int. J. Food Microbiol. 33, 103-120
- BRAUN P., LEKSCHAS S., FEHHLHABER K. (1998):
Ursachen für Haltbarkeitsprobleme bei Lebensmitteln im Kühltemperaturbereich
Fleischwirtschaft 78 (10), 1065 – 1068

- BRODY A.L. (2001):
What's active about Intelligent Packaging
Foodtechnology, 55 (6), 75 – 78
- BRUNNHUBER B. (1997):
Probleme bei der Temperaturüberwachung von gekühlten und tiefgefrorenen Lebensmitteln
3. Symposium Verfahrenstechnik, München
- COX Technologies (2000):
Produktinformation der Firma : Vitsab Technical Information Center
Internet: www.vitsab.com, Stand: April 2003
- DAINTY R. H., MACKEY B. M. (1992):
The relationship between the phenotypic properties of bacteria from chilled-stored meat and
spoilage process
Journal of applied Bacteriology. Symposium supplement, 73, 103 – 114
- DALGAARD P. (2000):
Freshness, quality and safety in seafood
technical manual of the FLAIR-FLOW EUROPE (F-FE 380A/00)
Internet: www.exp.ie/flair.html, Stand: April 2003
- EICHEN Y., LEHN, SCHERL, HAARER (1995):
Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 34, 2530-2533
- EICHEN Y. (2002):
Persönliche Mitteilung, Juli 2002
- Fleischhygieneverordnung (FIHV)
- FRICKER A. (1984):
Lebensmittel mit allen Sinnen prüfen
1.Aufl., Springer Verlag, 58
- GALLO L. (1981):
Mikrobiologische Aspekte bei der Kühllagerung von Schlachtgeflügel
Diss. Dipl. Lm.-Ing., ETH Zürich, 1981
- GAUKEL V. (2002):
Kühlen und Gefrieren von Lebensmitteln
Handbuch zur zweiten Frische-Logistik-Tagung,
Hrsg: Pastors, Krefeld, Okt., 2002, 219 - 246
- GEORGE M. (2000):
Management the cold chain for quality and safety
The national Food Centre, Ireland

Geflügelfleischhygiene-Verordnung (GFIHV)

GILKA J., INGR I., PALASEK J. (1980) :

Beurteilung des Frischegrades von zu Halbfertigerzeugnissen bestimmtem Fleisch
Fleischwirtsch. 60 (1), 118–122

GILL C. O. (1983):

Meat Spoilage and Evaluation of the Potential Storage Life of Fresh Meat
Journal of Food Protection 46, 444- 452

GILL C. O., HARRISON J. C. L. (1989):

The storage life of chilled pork packed under carbon dioxide
Meat Science 26, 313 – 324

GILL C.O. (1986):

The Control of Microbial Spoilage in Fresh Meats

In: Pearson A.M., T.R. (eds.): Advances in Meat Research – Meat and Poultry Microbiology,
Macmillan Publishers LTD, 49-88

HAARER D. (2002):

TTI- a Novel Time-Temperature Integrator- A Smart Food Freshness Label
Informationsbroschüre

HAHN J. H. (2002):

Active food packing
Business Briefing: Foodtech, 1 – 4

HILBERT F., SMULDERS F. (2000):

Kälte ist kein vollständiger Schutz
Fleischwirtschaft 12, 26 – 28

HURME E. (2002):

Intelligent Systems in food packaging – Advances in the supply chain
Business Briefing: Foodtech, 72- 75

JÖCKEL J. (2002):

Temperatur- und Atmosphärisch geführte Transporte
Handbuch zur ersten Frische-Logistik-Tagung
Duisburg, Juli, 2002, 391 – 400

KHATIB, TAL, GODSI, PESKIN, EICHEN (2000):

Tetrahedron, **56**, 6753-6761, 2000.

KLEER J., HILDEBRANDT G. (2002):

Bedeutung der Predictive Microbiology zur Risikominimierung bei der
Lebensmittelherstellung

Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2002 45; 474 – 483

KOUTSOUMANIS K.P., TAOUKIS P.S., DROSINOS E. H., NYCHAS G.-H. (2000):
 Applicability of an Arrhenius Model for the combined effect of temperature and CO₂
 Packaging on the spoilage microflora of fish
 Appl. And Environmental Microb., Aug., 3528 – 3534

KRÄMER J. (1997):
 Lebensmittel-Mikrobiologie
 3. Aufl., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

KREYENSCHMIDT J., LOHMEYER K., STAHL N. (2002):
 Charakterisierung des Verderbs von Frischfleisch
 Fleischwirtschaft 10/ 2002, 108 – 111

KREYENSCHMIDT J., REICHSTEIN R. (2002)
 Produktbegleitende Frischeüberwachung
 Poster im Rahmen der 2. „Frische-Logistik-Tagung“, Okt. 2002, Krefeld

KRÖKEL L., HECHELMANN H. (1998):
 Mikrobiologie der Kühlung, Kühlungslagerung und Fleischreifung
 In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.): Kühlen, Zerlegen, Kühlungslagerung,
 Reifung – Einfluss auf die Fleischqualität, Kulmbacher Reihe, Band 15, 35-57

KUNZ B. (1994):
 Grundriss der Lebensmittelmikrobiologie
 2. Aufl., Behr's Verlag, Hamburg

TAOUKIS, P. S., LABUZA T. P. (1989):
 Applicability of Time-Temperature Indicators as shelf life monitors of food products. J. of
 Food Science 54 (4), 783–88.

LABUZA T. P. (2000):
 The Search for Shelf life - An update on continued efforts in understanding practical
 strategies for determining and testing the shelf life of food products
 Food testing Analysis, Aufl. Mai 2000

LABUZA T. P. (2002):
 Determination of the Shelf Life of Foods
 Internet: www.fsci-umn.edu/Ted_Labuza/papers; Papers and Book Chapters

LABUZA T. P., FU B., TAKOUIS P. S. (1992):
 Prediction for shelf life and safety of minimally processed CAP/MAP chilled foods
 Food. Prot. (55), 741-750

LABUZA T.P., FU B. (1995):
 Use of time/temperature integrators, predictive microbiology, and related technologies for
 assessing the extent and impact of temperature abuse on meat and poultry products
 Journal of Food Safety (15) 3, 201-227

- LAMBERT A. D., SMITH J. P., DODDS K. L. (1991):
Shelf life extension and microbiological safety of fresh meat – a review.
Food Microbiology (8), 267-297
- LEAK F. W. (2000):
Quality changes in Ground beef during distribution and storage, and determination of Time-Temperature-Indicator (TTI) characteristic of ground beef
University of Florida Institute of food and Agricultural Sciences
Internet: www.vitsab.com, Stand: April 2003
- LETTMAN T., KREYENSCHMIDT J., KUNZ B., PETERSEN B., HAARER D. (2003):
Charakterisierung des Parameterspektrums von Zeit-Temperatur-Integratoren (TTI's) am Beispiel von verpacktem Frischfleisch
Fleischwirtschaft, Mai, 2003, im Druck
- LIFELINES Technologies (2000):
Produktinformation der Firma
Internet: <http://www.lifelinestechonology.com>, Stand: April 2003
- LÜCKE F.K., TROEGER K. (1998):
Fleischhygiene: Mikrobiologische Risiken
In: BRANDSCHEID W., HONIKEL K.O., VON LENGERKEN G., TROEGER K. (Hrsg.):
Qualität von Fleisch und Fleischwaren, Band 2, Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main, 439-505
- MARRIOT N. G. (1992):
Grundlage der Lebensmittelhygiene
2. Auf., Behr's Verlag, Hamburg
- Mc MEEKIN T. A., BROWN J., KRIST K., MILES D., NEUMEYER N., NICHOLS D.S., OLLEY J., PRESSER K., RATKOWSKY D. A., ROSS T., SALTER M., SONTRANON S. (1997):
Quantitative microbiology: A basis for food safety
Emerging Infectious Diseases, Vol. 3, No. 4, 541 – 549
- Mc MEEKIN T.A., ROSS T., OLLEY J. (1992):
Application of predictive microbiology to assure the quality and safety of fish and fish products
Int. J. Food Microbiol. 15, 13 – 32
- MEAD G.C., ADAMS B.W., HAQUE Z. (1982):
Vorkommen, Ursprung und Verderbspotential psychrotropher Enterobacteriaceae auf verarbeitetem Geflügel
Fleischwirtsch. 62 (9), 1173-1177

- MESZAROS L., RÖDEL W., GLEICH B. (1994):
Vorhersagende Mikrobiologie – ein effektives Konzept für die Qualitätssicherung-
Fleischwirtschaft 74 (11), 1227 – 1229
- MOJE M. (1998):
Kühlagerungsverfahren für Frischfleisch
Fleischwirtschaft (79), 2, 84-87
- MÖLLER K. (2000):
Frische erhalten und verbessern
Empfehlungen für kühlpflichtige und leicht verderbliche Fleischwaren, Fleisch und Wurst
Fleischwirtschaft 5, 39-42
- MÜLLER G., WEBER H. (1996):
Mikrobiologie der Lebensmittel – Grundlagen.
8.Aufl., Behr's Verlag, Hamburg
- NEUMAYR L. (1980):
Bedeutung der Keimzahl.
In: Kulmbacher Reihe, Bd. 1 „Themen aus der Mikrobiologie, Hygiene und dem
Lebensmittelrecht“ (Hrsg. Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach), 27-40
- PETERSEN B., KUNZ B. (2001):
„Qualität durch Frische“ Lebensmittel: Schweinefleisch
Poster im Rahmen der Präsentation: „Verbraucherschutz durch Agrarforschung – Beiträge zur
Lebensmittelsicherheit und Qualität“ auf dem Münsterplatz in Bonn 25.05.-26.05.2001
- PFEIFFER T., MENNER M. (1999):
Schutzgasverpackung für SB-Frischfleisch- Veränderung der Gasatmosphäre während der
Lagerung
Fleischwirtschaft (79) 12, 79-83
- PICHARDT K. (1998):
Lebensmittelmikrobiologie: Grundlagen für die Praxis
4.Aufl., Berlin: Springer Verlag
- PICHNER R. (1999):
Untersuchungen an frischem und gelagertem Schweinefleisch zur Evaluierung geeigneter
Frischeparameter
Diss. vet.med., München
- PLESS P., REISINGER T. (1995):
Einsatz der Impedanz-Splitting-Methode zur schnellen Bestimmung des
Oberflächenkeimgehaltes auf Schlachttierkörpern
Fleischwirtsch. 75 (9), 1149 – 1152

- POONI G.S., MEAD G.C. (1984):
Prospective use of temperature function integration for predicting the shelf-life of non-frozen poultry-meat products
Food Microbiology 1, 67-78
- PÖTZELBERGER D., PAULSEN P., HELLWIG E., BAUER F. (1997):
Erhebung zur Haltbarkeit und Haltbarkeitsbewertung von Frischfleisch.
Fleischwirtschaft 77 (12) 1086 – 1089
- REGEZ P., GALLO L., SCHMITT R. E., SCHMIDT-LORENZ W. (1988):
Microbial Spoilage of Refrigerated Fresh Broilers
III. Effect of Storage Temperature on the Microbial Association of Poultry Carcasses
Lebensm.-Wiss. u. Technol. (21), 229-233
- REINSCHMIDT.B., JÖCKEL J., HILDEBRANDT G. (1992):
Impedanzmessgeräte in der Routinediagnostik
Lebensmitteltechnik (24) 12, 58-60
- REUTER G. (1996):
Mikrobiologie des Fleisches. In Mikrobiologie der Lebensmittel, Fleisch und Fleischerzeugnisse
Behrs Verlag, Hamburg
- RICHTER M., FEHLHABER K., BRAUN P. (1998):
Haltbarkeitsprobleme bei Lebensmitteln durch mikrobielle Enzyme
Fleischwirtsch. 78 (4), 366-368
- ROBERTS T.A. (1997):
Predictive Microbiology applied to chilled food preservation
Proc. of the international Symposium Quimper Froid'97, 21 - 28
- RUSSELL S. M. , FLETCHER D.L., COX N. A. (1992):
A rapid method for determination of temperature abuse of fresh broiler chicken
Poultry Science 71, 1391 - 1395
- SCHILLINGS-SCHMITZ (2002):
Anforderung an die Frischelogsistik in der Nahrungskette zwischen Qualitätsmanagement und Wirtschaftlichkeit
Tagungshandbuch zur 1 Frische-Logistik-Tagung. Hrsg. P. Pastors, Juli, 2002, Duisburg
- SCHLEGEL H.G. (1992):
Allgemeine Mikrobiologie
7. Aufl., Thieme Verlag, Stuttgart
- SCHOTT J. (1999):
MAP für SB-Frischfleisch- Veränderungen der Gasatmosphäre während der Lagerung
Fleischwirtschaft (79) 12, 32-34

SCHULENBURG J. (1997):

Möglichkeiten und Grenzen der Impedanztechnik unter besonderer Berücksichtigung der Gesamtkeimzahlbestimmung
Diss. vet.med, Berlin, 1997

SCHWÄGELE F. (1998):

Kühlung, Kühlungslagerung und Fleischreifung - chemische und physikalische Grundlagen
In: Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (Hrsg.): Köhlen, Zerlegen, Kühl-lagerung, Reifung – Einfluss auf die Fleischqualität, Kulmbacher Reihe, Band 15, 7-35

SHIMONI E., LABUZA T. P. (2000):

Modeling pathogen growth in meat products: future challenges
Trends in Food Science & Technology (11), 394-402

SINEL H.J. (1992):

Einführung in die Lebensmittelhygiene
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg

SMULDERS F. J. M., UPMANN M. (2000):

Verminderung der bakteriellen Belastung auf frischem Fleisch
Beherrschung mikrobieller Risiken bei Fleischgewinnung und -bearbeitung
Fleischwirtschaft (80), 10, 18-20

TAOUKIS P. S. , LABUZA T. P., SAGUY S. (1997):

Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction
In: Handbook of food Engineering practice, 361 - 403
Hrsg.: Singh, Rotstein, Valentas
CRC PRESESS LLC, Boca Raton, Florida

TAOUKIS P. S., FU B., LABUZA T. P. (1991):

Time-Temperature Indicators
Food Technol. (45), 10, 70-82

TAOUKIS P. S., LABUZA T. P. (1997):

Chemical Time-Temperature-Integrators as quality monitors in the chill chain
Proc. of the international Symposium Quimper Froid'97, 291 - 297

TAOUKIS P.S. (2001):

Modelling the use of time-temperature indicators in distribution and stock rotation
In: Food process modelling. Hrsg.: Tijskens, Hertorg und Nicolai, CRC-Press LLC, FL, USA, 402 – 428

TAOUKIS P.S., KOUTSOUMANIS K., NYCHAS G.J.E. (1999):

Use of time-temperature integrators and predictive modelling for shelf life control of chilled fish under dynamic storage conditions
Int. J. Food Microbiol. 53, 21-31

TÄUFEL A., TERNES W., TUNGER L., ZOBEL M. (1993):
Lebensmittel-Lexikon A-K,
3. Aufl., Behr's Verlag, Hamburg

TOMPKIN (1990):

The use of HACCP in the production of meat and poultry products
J. Food Protect. 53 (9), 795 - 803

TSOKA S., TAOUKIS P.S., CHRISTAKOPOULOS P., KEKOS D., MACRIS B.J. (1998):
Time Temperature Integration for chilled food shelf life monitoring using enzyme-substrate
systems
Food biotechnology (12),1 & 2, 139-155

UPMANN M., PAULSEN P., JAMES C., SMULDERS F. J.M. (2000):
Die Mikrobiologie von Kälte behandeltem Fleisch
Fleischwirtschaft (80)8, 90-97

UPTON M. (1996):

Relationships between pathogen growth and the general microbiota on raw and processed
meat and poultry.

In: "HACCP: An integrated approach to assuring the microbiological safety of meat and
poultry" (Ed. Sheridan J. J., Buchanan R. L., Montville T. J.), 139-149
Food and Nutrition Press, Inc.

WAWERLA A., EISGRUBER H., SCHALCH B., STOLLE A. (1998):
Zum Einsatz der Impedanzmessung in der Lebensmittelmikrobiologie
Archiv für Lebensmittelhygiene (49) 4/5, 76-89

WEISE E. (1996):

Mikrobiologie des Geflügels

In: Weber (Hrsg.) Mikrobiologie der Lebensmittel-Fleisch und Fleischerzeugnisse
Behr's Verlag, Hamburg

WELLS J.H., SINGH R.P., NOBLE A.C. (1987):

A graphical Interpretation of time-temperature related quality changes in frozen food
J. of food science, (52),2, 436 – 439

WHITING R. (1995):

Microbial Modeling in foods

Food Sci. And Nutrition, 35 (6), 467 – 494

ZARITZKY N. L., GIANNUZZI, PINOTTI A. (1997):

A predictive Model for microbial growth in beef stored at different refrigeration temperatures
in plastic film

Proc. of the international Symposium Quimper Froid'97, 56 - 63

7 Anhang

Checkliste: Datenlogger

Rücksendung:

1. Angaben zum Datenlogger:

Nr. des Datenlogger: _____

Plazierung des Datenloggers: _____

Zeitpunkt des **Anbringens** des Datenloggers:

a) Datum: _____

b) Uhrzeit: _____

c) Ort: _____

Zeitpunkt des **Abnehmens** des Datenloggers:

d) Datum: _____

e) Uhrzeit: _____

f) Ort: _____

Angaben zum

Transportweg: _____

1. Angaben zum Lebensmittel:

4 Fleischart: _____

Teilstück: _____

Verpackungsmaterial: _____

Verpackungsart:

Vakuum

Tag der Schlachtung: _____

Bemerkungen: _____

Dokumentation zum Gebrauch von Zeit-Temperatur-Integratoren zur Produktüberwachung von frischem Fleisch:

1. Angaben zum Zeit-Temperatur-Integrator:

Nr. / Kennzeichnung des Indikators: _____ Aufladezeit des Indikators: _____ sec

	Datum /Uhrzeit	Optische Bewertung anhand der Farbskala (1-8) (siehe rechts)	Unterschrift
Probe Kulmbach	Datum: Uhrzeit:		
Probe Filiale	Datum: Uhrzeit:		

2. Angaben zum Fleisch:

Nr. /Kennzeichnung des Fleischstückes: _____

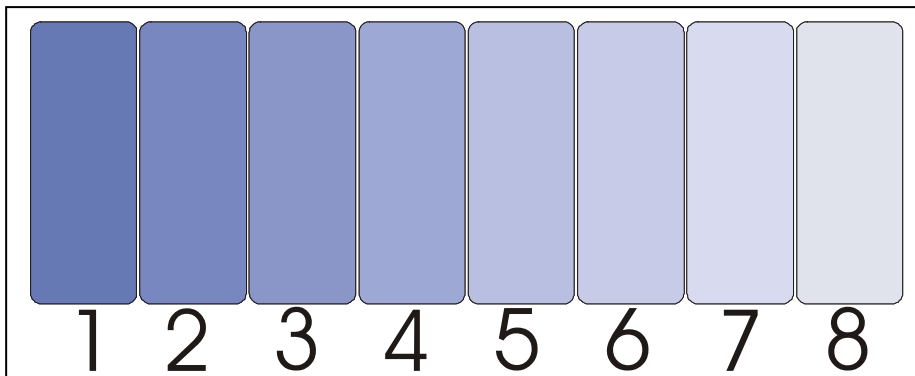
Geflügel Schwein

5

6 Teilstück: _____

Verpackungsmaterial: _____

Bemerkungen:



8 Konsequenzen für evtl. weitere Forschungsaktivitäten

Im Vordergrund dieses Fortsetzungsvorhabens stand die Prüfung der Eignung des Temperatur-Zeit-Integrators für eine produktbegleitende Kontrolle von Frischfleisch unter Praxisbedingungen. Aufgrund des engen Zeitrahmens konnten jedoch nur eine begrenzte Anzahl von Untersuchungen im Berichtszeitraum durchgeführt werden. Zur weiteren statistischen Absicherung wäre es wünschenswert, wenn in diesem Bereich weitere Forschungen erfolgten, um das Simulationsmodell besser an die realen Prozessabläufe anpassen zu können. Dadurch wäre eine Optimierung beider Systeme (TTI und verpacktes Lebensmittel) möglich. Zum einen sollte durch eine Variation der Aufladezeiten des Integrators getestet werden, inwieweit auf diese Weise eine produktspezifische Anpassung des TTIs an die Art der Verpackung möglich wird. Zum anderen gilt es gerade den Einfluss der Verpackung auf den Frischeverlust näher zu untersuchen, da entsprechende Richtwerte aus der Literatur, die zur Modellerweiterung nötig wären, fehlen.

Aufbauend auf den bisher durchgeführten Pilotstudien, sollte auch das Kühlen und Lagern von Lebensmittel beim Endverbraucher als letzte Stufe der Kühlkette in Folgeuntersuchungen einbezogen werden. Als wesentliche Untersuchungsstufen sind hierbei der Transport der gekauften Lebensmittel und die anschließende Lagerung im Haushalt, insbesondere im Kühl- oder Gefrierschrank zu untersuchen. Aufgrund der vielfältigen Verhaltensweisen des Konsumenten sind entsprechende Verbrauchermodelle zu entwickeln und die Konsequenzen unterschiedlicher Transport- und Lagerbedingungen sowohl auf den Frischeverlust, als auch auf das Entfärbeverhalten der TTIs zu überprüfen. Ergänzend dazu ist das Gefährdungspotential im Haushalt zu analysieren und Vorschläge für Abhilfemaßnahmen zu erarbeiten. Dabei kann das hier vorgestellte mathematische Modell das Kerngerüst für ein erweitertes Prognosemodell darstellen.

9 Mitteilung über evtl. schützenswerte Nutzungsrechte

Das Nutzungsrecht für die Integratoren Bayreuth /Haifa ist geschützt durch das Patent von Herrn Prof. Dr. D. Haarer und Prof. Dr. Y. EICHEN.

Patent, German, 198.03. 208.A1

10 Liste über Veröffentlichungen

HAARER, D., Y. EICHEN, B. KUNZ und B. PETERSEN, (2002)

„TTI – a Novel Time-Temperature-Integrator – A Smart Food Freshness Label
Broschüre, Bayreuth

KREYENSCHMIDT, J., N. PETERS, B. PETERSEN und B. KUNZ (2002)

System zur Erstellung von Temperatur- Zeit- Funktionen zur Charakterisierung des Verderbs von Frischfleisch
Fleischwirtsch. 6, 102-104

KREYENSCHMIDT, J., K. LOHMEYER und N. STAHL (2002)

Charakterisierung des Verderbs von Frischfleisch: Veränderung mikrobiologischer und biochemischer Parameter von Geflügelfleisch bei unterschiedlichen Lagertemperaturen
Fleischwirtsch. 10, 109-111

KREYENSCHMIDT, J., B. PETERSEN, D. HAARER, W. REICHSTEIN, Y.EICHEN (2002)

TTI: Produktbegleitende Frischeüberwachung über intelligente Verpackung.
Tagungshandbuch “Frische und Logistik” zur 1. Frische- Logistik Tagung. Hrsg.: P. Pastors, Juli 2002, Duisburg, 401 - 414

KREYENSCHMIDT, J., B. PETERSEN, D. HAARER, W. REICHSTEIN, Y.EICHEN (2002)

TTI: Produktbegleitende Frischeüberwachung über intelligente Verpackung
Tagungshandbuch “Frische und Logistik” zur 2. Frische- Logistik Tagung Hrsg.: P. Pastors, Oktober 2002, Krefeld, 259 – 272

LETTMANN, T., J. KREYENSCHMIDT, B. KUNZ und B. PETERSEN (2002)

Modellanpassung zur Charakterisierung des Parameterspektrums von TTIs.

Im Druck, Fleischwirtschaft, Mai, 2003

**KREYENSCHMIDT, J., P. ROGOWSKI, C. RADEMACHER, S. KNURA-DESZCKA,
und B. PETERSEN (2003)**

Berücksichtigung des Schlachtverfahrens bei der Einschätzung der Haltbarkeit.

Frische- und Lebensmittellogistik, 2, 17 - 20

11 Liste über Vorträge

**KREYENSCHMIDT, J., B. PETERSEN, D. HAARER, W. REICHSTEIN, Y.EICHEN
(2002)**

TTI: Produktbegleitende Frischeüberwachung über intelligente Verpackung.

Vortrag im Rahmen der 1.“Frische- Logistik Tagung“, 03.07.2002, Duisburg

12 Liste über Pressemitteilungen

Die Pressestelle der Universität Bonn versendet am 18.09.2001 eine Presseinformation zum Thema „Frischeindikator und Haltbarkeit von Lebensmittel“:

Weißer Punkt heißt „ungenießbar“

Berichte über den Frische-Indikator und Haltbarkeitsdauer in der Tages- und Fachpresse:

- Berliner Kurier 27.09.2001
- Bild-Zeitung 19.09.2001
- Bonner Express 19.09.2001
- Bonner-Rundschau 04.10.2001
- dlz agrarmagazin 11.2001
- DLG 12.2001
- Fleischwirtschaft 12.2001
- Food & Hygiene 12. 2001
- General Anzeiger 25.09.2001
- Giessener Allgemeine 02.10.2001
- Handelsblatt NRW 21.09.2001
- Kölner Stadt-Anzeiger 25.09.2001
- Kieler Nachrichten 20.09.2001

- Neue Presse Coburg 26.01.2002
- Passauer Neue Presse 20.09.2001
- Rhein-Sieg-Anzeiger 25.09.2001
- Rheinzeitung 29/30.09.2001
- Rheinische Post 19.09.2001
- Saale-Zeitung 20.09.2001
- Süddeutsche Zeitung 02.09.2001
- Süddeutsche Zeitung 02.10.2001
- Thüringer Allgemeine 21.09.2001
- Welt der Frau 15.12.2001
- Handelsjournal 06. 2002

Darstellung zum Thema „Frische-Indikator und Haltbarkeit“ im Internet:

- www.food-presse.de
- www.pigpool.de
- www.de.news.yahoo.com
- www.Fleischernet.de
- www.netzeitung.de
- www.Bildung.t-online
- newsfeed.medien-zentrum.de
- www.umwelt-presse.de
- handwerk.de
- www.campus-web.de
- idw-online.de
- www.bonnaparte.de
- www.fleischernetz.de
- www.talkingfood.de
- www.medwell24.at/CDA_Master
- www.br-online.de
- www.newswasher.com
- www.oe-journal.at/Xmain
- www.expeditionzone.com
- www.ratio2000.de
- www.oe.tieraerztekammmer.at/pnews.htm
- news.agrar.de
- www.sciberia.de
- www.getwellness.ch/index

Interviews im Radio:

- WDR 5 (Prof. Dr. B. Petersen, Dr. S. Knura-Deszczka)
- WDR (Dr. S. Knura-Deszczka, Judith Kreyenschmidt)
- WDR 2 (Judith Kreyenschmidt)
- Radio Berlin (Prof. Dr. B. Petersen)
- Deutschlandfunk (Judith Kreyenschmidt)

13 Liste über Posterpräsentationen, Vorführungen und Demonstrationen**PETERSEN B., KUNZ B. (2001):**

„Qualität durch Frische“ Lebensmittel: Schweinefleisch

Poster im Rahmen der Präsentation: „Verbraucherschutz durch Agrarforschung – Beiträge zur Lebensmittelsicherheit und Qualität“ auf dem Münsterplatz in Bonn 25.05.-26.05.2001

KREYENSCHMIDT J., REICHSTEIN W. (2002):

1. Produktbegleitende Frischeüberwachung
 2. Zeit- Temperatur- Indikatoren
- Poster im Rahmen der 2. „Frische- Logistik- Tagung“
10.10.2002, Krefeld

14 Kurzfassung

Mit Hilfe von Zeitreihenmessungen in Zerlege- und Verpackungsbetrieben galt es die Voraussetzungen zu prüfen, wie sich durch das Anbringen von Zeit-Temperatur-Integratoren auf verpacktem Frischfleisch das Einhalten der Kühlkette vom Produzenten bis zum Verbraucher kontrollieren lässt. Dabei wurden gleichzeitig die Auswirkungen der Art der Verpackung auf den Frischeverlust berücksichtigt. Weiterhin erfolgte die Testung unterschiedlicher Aufladezeiten (15- und 30 sec) zur Aktivierung des Integrators, um die Startbedingungen für die Entfärbung während der Lagerung zu variieren. Die Daten stellen die Grundlage zur Validierung eines Simulationsmodells dar, welches in einem bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben entwickelt wurde. Mit diesem Modell lassen sich Prognosewerte für die Kühlkettenüberwachung vorhersagen. Diese Werte beziehen sich zum einen auf die Vorschätzung der Haltbarkeitsdauer zum anderen auf das Entfärbeverhalten unterschiedlicher TTI-Varianten.

Überprüft wurden aerob- und vakuumverpackte Chargen von Schweine- und Geflügelfleisch. Erwartungsgemäß zeigt vakuumverpackte Ware eine längere Haltbarkeit als aerob verpackte. Nach unterschiedlicher Lagerdauer und -temperatur wurden zeitgleich die produktspezifischen Frischeparameter und das Entfärbeverhalten der Integratoren über eine Farbskala als praxisnaher visueller Test bestimmt.

Sowohl für Schweine- als auch für Geflügelfleisch erfolgte die Einstufung des Frischeverlusts durch den Sensorik-Index und die Impedanz-Keimzahl. Beide Methoden sind bereits in Vorstudien validiert worden, so dass entsprechende Referenz- und Vergleichswerte vorlagen. Ein Vergleich der gemessenen mit den berechneten Werten für den Frischeverlust bzw. die Haltbarkeitsdauer in Stunden aus dem Simulationsmodell bezüglich beider Messparameter ergab bei Schweine- und Geflügelfleisch insgesamt gute Übereinstimmungen bis auf einige wenige Abweichungen. In Bezug auf die Berücksichtigung mehrerer Verpackungsvarianten müssten Anpassungen des Modells stattfinden.

Die Untersuchungen zu den TTI-Farbwerten zeigten, dass die gemessenen mit denen über das Simulationsmodell berechneten Werten für die Entfärbedauer in den meisten Fällen identisch sind.

Beim Vergleich der Modellparameter zur Charakterisierung der produktspezifischen Verderbskriterien und des Entfärbeverhaltens des TTIs konnte dargestellt werden, dass bei einer Aufladezeit des TTIs von 15 sec der Frischeverlust des Fleisches (unabhängig von der Verpackungsart) und das Verfärbeverhalten des Integrators in den Versuchsreihen synchron verliefen.

Grundsätzlich erfüllt der getestete Integrator Bayreuth/Haifa damit die Voraussetzungen, als zusätzliches Kontrollinstrument zur Beurteilung des Frischezustands der verbleibenden Haltbarkeit zu fungieren. Abschließend wird ein Vorschlag erörtert, in welcher Weise sich ein solches System in der Qualitätskontrolle ergänzend zu den bisher bestehenden Kühlkettenüberwachungsmaßnahmen anwenden ließe.

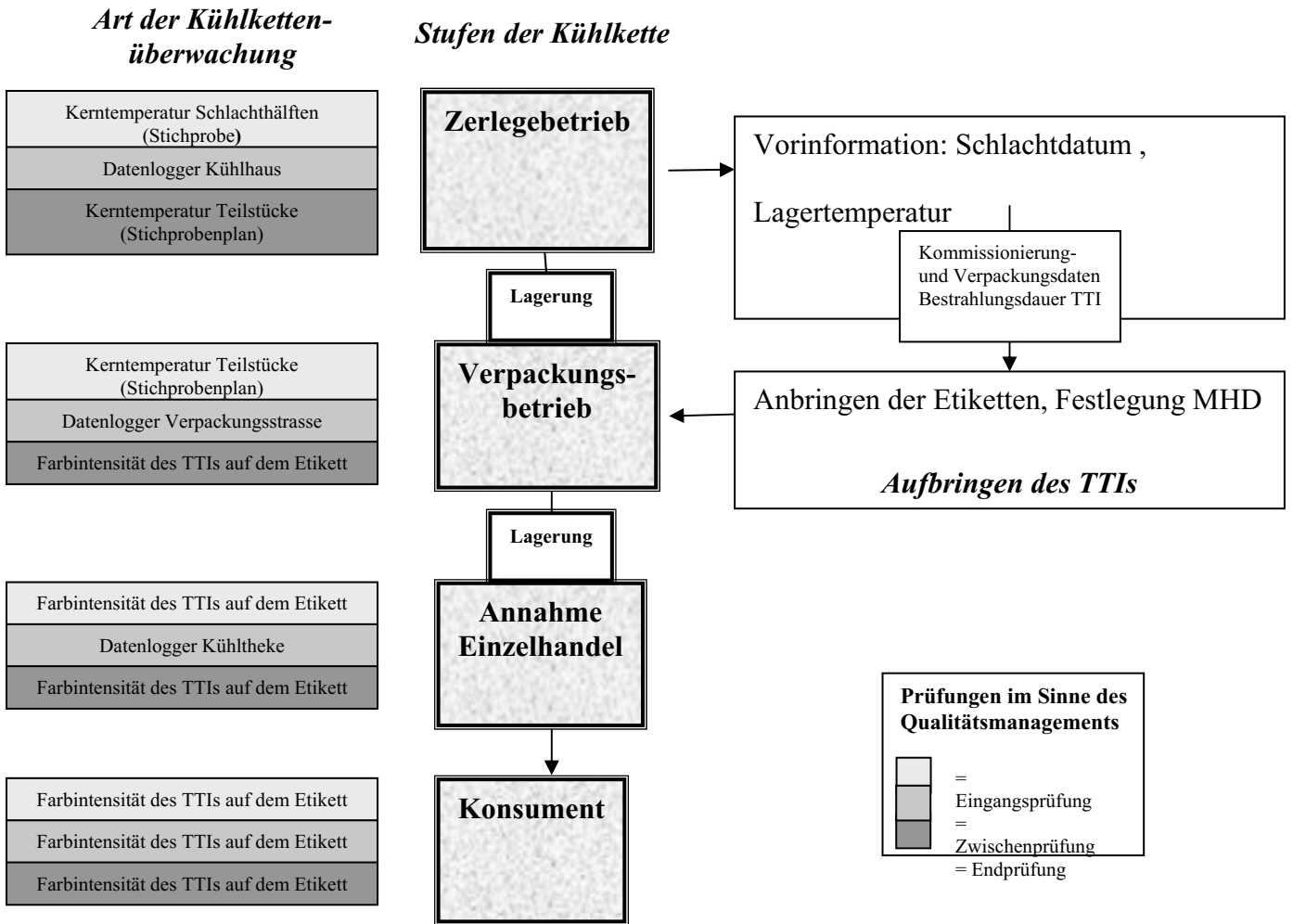


Abb.9: Kontrolle des Kühlkettenmanagements unter Einbeziehung von Temperatur-Zeit-Integratoren