

Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit
Band: 96 (2005)
Heft: 5

Artikel: Möglichkeiten und Hindernisse bei der Einführung von Time-Temperature-Indicators
Autor: Hauser, David / Gehrig, Marco / Rohrer, Matthias
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-981960>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Möglichkeiten und Hindernisse bei der Einführung von Time-Temperature-Indicators

David Hauser, Marco Gehrig, Matthias Rohrer, Thomas M. Lüthi
Zürcher Fachhochschule, Hochschule Wädenswil, Abt. Lebensmitteltechnologie,
8820 Wädenswil

Eingegangen am 6. Januar 2005, akzeptiert am 25. August 2005

Einleitung

Wenn mit Produkten aus dem Kühl- bzw. Tiefkühlregal vom Produzenten bis zum Konsumenten sorgfältig umgegangen wird, so ist die Haltbarkeit bis zum Mindesthaltbarkeitsdatum resp. Verbrauchsdatum kein Problem. Neben dem hygienischen Umgang mit den Lebensmitteln ist vor allem auch die Einhaltung der Lager- und Transporttemperaturen wichtig. Wird die Kühlkette nicht eingehalten, kann dies zu einem Verderb des Produktes vor Ablauf der Mindesthaltbarkeit führen. Nicht immer ist ein mikrobiologischer Verderb der Erzeugnisse sensorisch erkennbar. Das angegebene Mindesthaltbarkeitsdatum genügt daher meist nicht als Warnung bzw. Information für den Konsumenten.

Ein weiteres Problem stellt die Bestimmung der Verbrauchsdaten dar. Diese Daten werden oft nicht wissenschaftlich bestimmt, sondern durch das Marketing und die Logistik festgelegt. Verbrauchsfristen von leichtverderblichen Lebensmitteln müssen aber von den Herstellern so angesetzt sein, dass am Ende der Frist noch immer ein einwandfreies Produkt vorliegt. Dass dies oft nicht der Fall ist, zeigen die Kantonalen Laboratorien. Das Kantonale Labor des Kantons Thurgau untersuchte 2003 in Auslagerungsversuchen die mikrobiologische Qualität von leichtverderblichen Lebensmitteln. Dabei wurden Lebensmittel gekauft, bis zum Verbrauchsdatum ausgelagert und dann mikrobiologisch untersucht. Von 26 untersuchten Milchprodukten (Rahm) und 26 Fleischerzeugnissen waren je 8 (31 %) beim Verbrauchsdatum minderwertig. Noch schlechter war die Situation bei geräucherten Fischen, wo von 12 Produkten 5 (42 %) beim Verbrauchsdatum zu beanstanden waren. [1] Mit der gleichen Problematik befasste sich der Kanton Bern 2004. Es wurden ebenfalls leichtverderbliche Produkte ausgelagert und anschliessend

untersucht. Die Situation präsentierte sich ähnlich: Von 31 Proben pasteurisiertem Rahm mussten 5 (16 %) beanstandet werden [2], bei geräuchertem Fisch wurden von 31 Proben 12 (39 %) beim Verbrauchsdatum mikrobiologisch beanstandet. [3]

Abhilfe zur Überwachung der Kühlkette könnten so genannte Time-Temperature-Indicators (TTIs) schaffen. Ein TTI kann als einfaches, günstiges Hilfsmittel definiert werden, das Rückschlüsse auf Temperaturenbedingungen, bei denen ein Produkt gelagert wurde, erlaubt. Die Funktionsweise der zurzeit erhältlichen TTIs beruht auf chemischen (enzymatisch), physikalischen oder mikrobiologischen Prinzipien. Dabei wird das Reaktionsverhalten gewöhnlich irreversibel durch Farbänderungen oder Farbverläufe angezeigt. [4]

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. Auf dem weltweiten Markt haben sich drei verschiedene Grundtypen etabliert:

Typ I 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 World Health Organisation (WHO) eingesetzt, um den Transport und die Lagerung von Impfstoffen zu überwachen. [5]

Typ II ist ein enzymatischer Integrator. Der Farbwechsel von grün zu gelb basiert auf einer Erhöhung des pH-Wertes, welche durch eine enzymatisch bedingte Hydrolyse eines lipidhaltigen Substrats bedingt ist. 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 mechanisch gebrochen. Durch unterschiedliche Enzyme und Substrate kann der Integrator für verschiedene Lebensmittel angepasst werden. Vor der Aktivierung muss der Integrator kühl gelagert werden. [5]

Die Funktionsweise des Typs III beruht auf einer Polymerisation eines zuvor farblosen Acethylen- oder Diacethylenmonomers zu einem farbigen Polymer, dessen Länge und damit Farbintensität temperaturabhängig ist. Das aktive Zentrum des Integrators ist meist umgeben von einem Referenzring als Anhaltspunkt für den Verfärbungsgrad. Vor der Aktivierung muss der Integrator bei -25°C gelagert werden. [5]

Eine weitere Integrator-Variante wurde 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. [5]

In der Schweiz wurde von der Firma Pago AG in Grabs SG ein neuer TTI entwickelt, der mittels Farbumschlag die Frische eines Lebensmittels anzeigt. Durch eine Aktivierungsfolie wird der Indikator aktiviert und signalisiert von Gelb über Orange nach Pink die verbleibende Haltbarkeit eines frischen, nicht tiefgekühlten Lebensmittels.

Das Lebensmittelgesetz und die Hygieneverordnung definieren die Anforderungen an die Kühl- und Tiefkühlhaltung. Die Temperatur der Kühlkette muss jederzeit gesichert und kontrolliert sein. Eine Kühlkette besteht aus vielen verschiedenen Elementen, die durch Schnittstellen miteinander verbunden sind. Das Zusammenspiel dieser Elemente muss korrekt ablaufen, damit die Qualität und Sicherheit des Lebensmittels bis zum Konsumenten gewährleistet werden kann. Besonders gross ist die Gefahr einer Unterbrechung bei den Schnittstellen, wo die Ware den Ort bzw. den Besitzer wechselt.

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine Kühlkette zu untersuchen und modellhaft aufzunehmen mit dem Zweck, Probleme zu erkennen und mögliche Einsatzorte für TTIs zu definieren. Zudem wurden Anforderungen an einen idealen Time-Temperature-Indicator für einen Einsatz im Tiefkühlbereich und Frischebereich ausgearbeitet.

Als Modell wurde dabei die Herstellung und die Distribution einer tiefgefrorenen Schokoladenroulade der Firma Kern & Sammet AG in Wädenswil untersucht.

Material und Vorgehen

Material

Für die vorliegende Untersuchung der Kühlkette standen Datenlogger der Firma Testo (Testo AG, 8617 Mönchaltendorf) zur Verfügung. Es handelt sich um 2-Kanal Temperaturlogger mit internem Sensor/externem Fühlereingang, Model 175-T2. Als Sensoren wurden diverse Fühler der gleichen Firma verwendet: ein Tauch- und Einstechfühler (IP 67), ein robuster Luftkühler zur Kontrolle der Lagertemperatur, ein Lebensmittelfühler (IP 65) aus Edelstahl und ein Gefrierfühler zum Einschrauben ohne Vorbohren.

Für die Programmierung und Auswertung der Logger wurde die von Testo mitgelieferte Software ComSoft 3 eingesetzt. Die Grafiken der Daten wurde mit Excel unter Windows erstellt.

Vorgehen

Die Temperaturen jeder Stufe der Kühltette bis zum Depositär (Abbildung 1) wurden mittels Datenlogger aufgenommen. Die Temperaturlogger wurden jeweils in Lastwagen, Tiefkühlern und Produkten verwendet. Im Lastwagen wurde in zwei Untersuchungen im Mai mit Hilfe der Logger evaluiert, wie sich die Temperatur im Laufe des Transportes verändert, sei dies während der Fahrt oder beim Be- und Entladen. Zudem wurde evaluiert, wo sich die kritische Temperatur räumlich im Tiefkühlraum des Lastwagens befindet. Dies konnte mittels an unterschiedlichen Orten befestigter Datenlogger (Platzierung bei Ladefläche, Mitte und Rückwand des Lastwagens, Abbildung 2) identifiziert werden. Während der Fahrt des Lastwagens wurde zusätzlich ein Temperaturlogger in einer Verpackung platziert, um die Veränderung der Temperatur innerhalb der Verpackung zu erfassen.

Die gleiche Vorgehensweise wurde beim Tiefkühler ausgeführt. Auch hier wurden an unterschiedlichen Standorten (im Kühler wie in Produkten) Messgeräte installiert, um Temperaturschwankungen innerhalb des Kühlers bzw. Lebensmittel aufzuzeigen.

Die Datenlogger wurden mittels Eiswasser vor jedem Einsatz kalibriert.

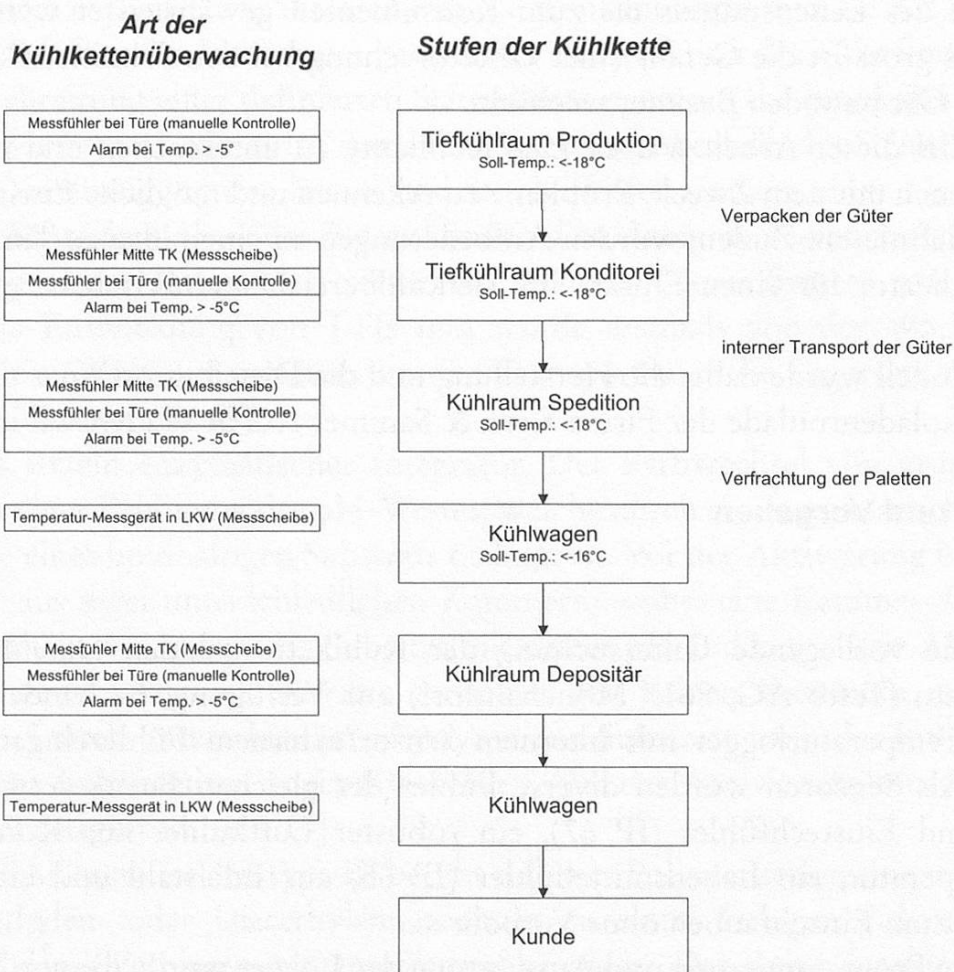


Abbildung 1 Überwachung und Stufen der Kühltette in der Firma Kern & Sammet AG

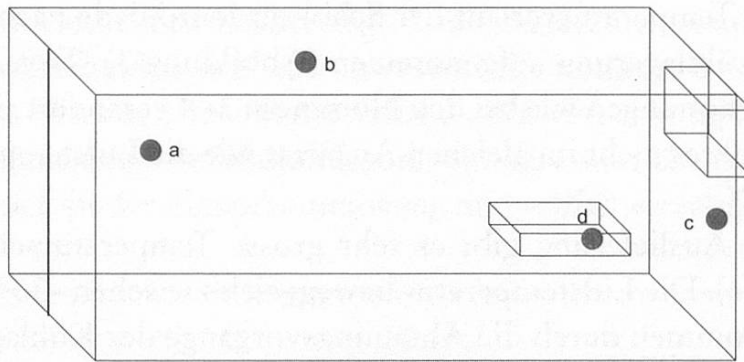


Abbildung 2 Standorte der Datenlogger zur Messung der Lufttemperatur im Lastwagen. Die Datenlogger an den Messpunkten a–c wurden am 27.04.04 eingesetzt, derjenige bei Messpunkt d am 23.03.04. Messpunkte: a Messung bei der Türe, b Messung an Seitenwand in der Mitte, c Messung an der Rückwand, d Messung in der Verpackung

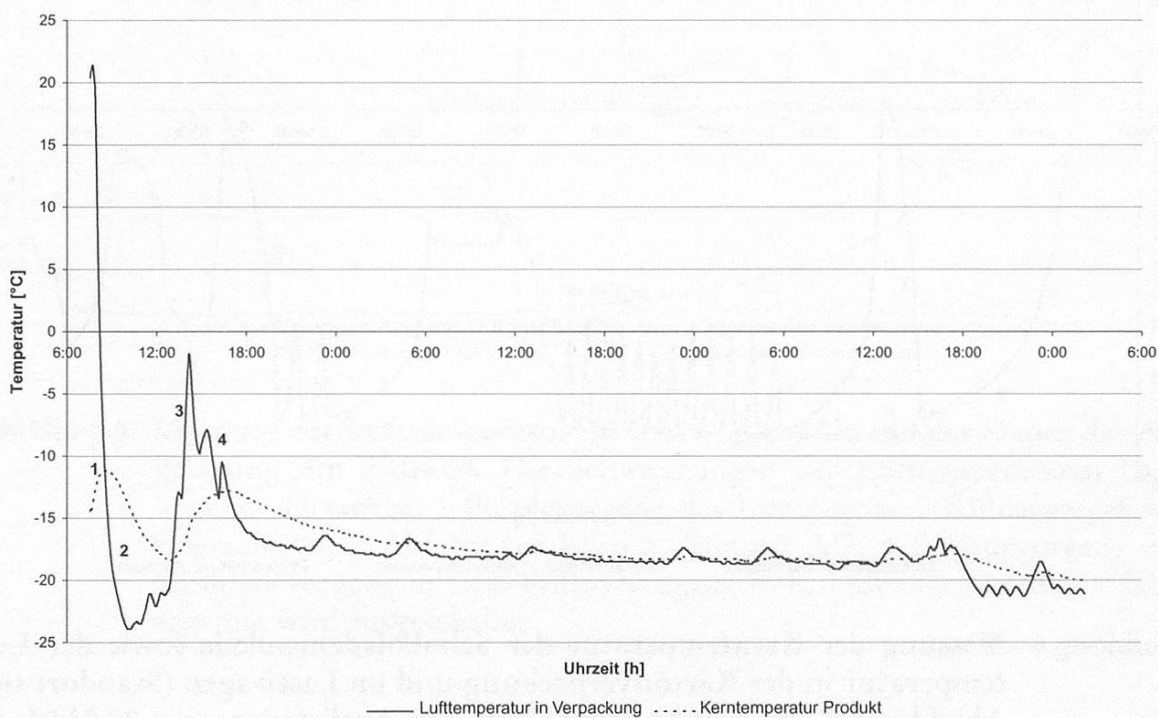


Abbildung 3 Verlauf der Kerntemperatur der Schokoladenroulade sowie der Lufttemperatur in der Verpackung während der Produktion bis zur Lagerung im Konditorei-Tiefkühler. Die Messungen wurden im Abstand von 30s durchgeführt. Die Temperatur wurde während 55h aufgezeichnet. Die Schwankungen der Lufttemperatur hatten folgende Ursachen: 1 Roulade wird bei Raumtemperatur mit Überzugscreme eingestrichen und mit Schokoladespänen überstreut, 2 Einfrieren der eingestreuten Roulade, 3 Roulade wird bei Raumtemperatur in Kartonkiste verpackt, 4 Kartonkisten werden eingefroren und gelagert bei -18°C

Resultate

Es wurde der Temperaturverlauf der Schokoladenroulade nach der Produktion bis und mit Tiefkühl Lagerung aufgenommen (Abbildung 3). Trotz den Tätigkeiten mit Temperaturerhöhungen wie bei den Nummern 2–4 verändert sich die Kerntemperatur des Produktes nicht im gleichen Ausmass wie die Lufttemperatur und steigt auf maximal -13°C .

Während der Auslieferung gibt es sehr grosse Temperaturschwankungen der Luft (Abbildung 4). Die Lufttemperatur bewegt sich zwischen -30°C bis $+2^{\circ}\text{C}$. Die Schwankungen kommen durch die Abtauungsvorgänge der Kühlaggregate und das Öffnen der Ladetüren bzw. Ausliefern der Ware zustande. Die Temperatur im Kern des Produktes verändert sich nicht und bleibt während des Auslieferungsvorgangs konstant bei ca. -18°C .

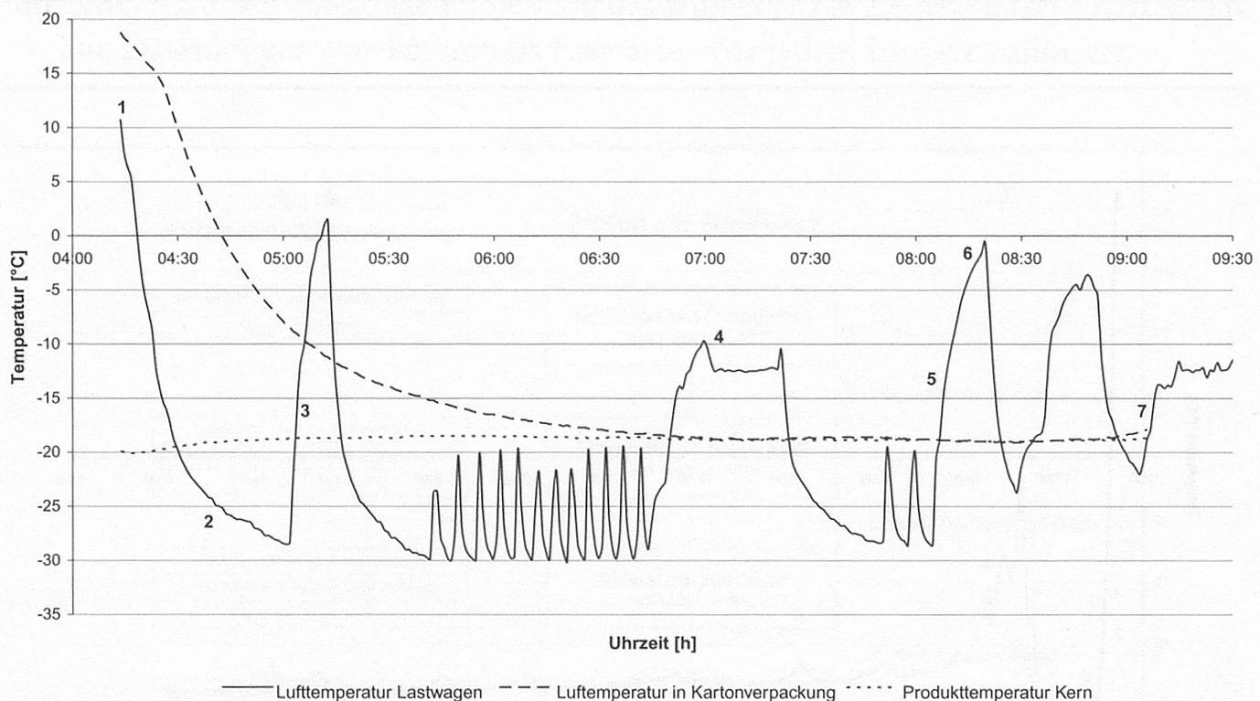


Abbildung 4 Messung der Kerntemperatur der Schokoladenroulade sowie der Lufttemperatur in der Kartonverpackung und im Lastwagen (Standort siehe Abbildung 4 Messpunkt d) während der Auslieferung am 23.03.04. Die Messungen wurden im Abstand von 30s durchgeführt. Die Temperatur wurde während 5,5h aufgezeichnet. Die Schwankungen der Lufttemperatur hatten folgende Ursachen: 1 Beladevorgang des Lastwagens, 2 Abfahrt bei Kern & Sammet AG, 3 Automatische Abtauung setzte während 10min ein, 4 Entladevorgang in F, 5 Automatische Abtauung setzte während 15 min ein, 6 Entladevorgang in B, Lastwagen ist leer, 7 Kühlaggregat wird ausgeschaltet

Abbildung 5 gibt Aufschluss darüber, in welchem Bereich die höchste Temperatur im Lastwagen während der Fahrt liegt. Die Temperaturmessung bei den Standorten a und c unterscheiden sich nur unwesentlich. Standort b weist jedoch einen konstant höheren Wert auf. Die Temperatur in der Verpackung (Messpunkt d) ist deutlich tiefer als diejenige im Tiefkühlraum. Sie schwankt ebenso wie die anderen Messpunkte, jedoch ist der Temperaturanstieg und -abfall verschoben.

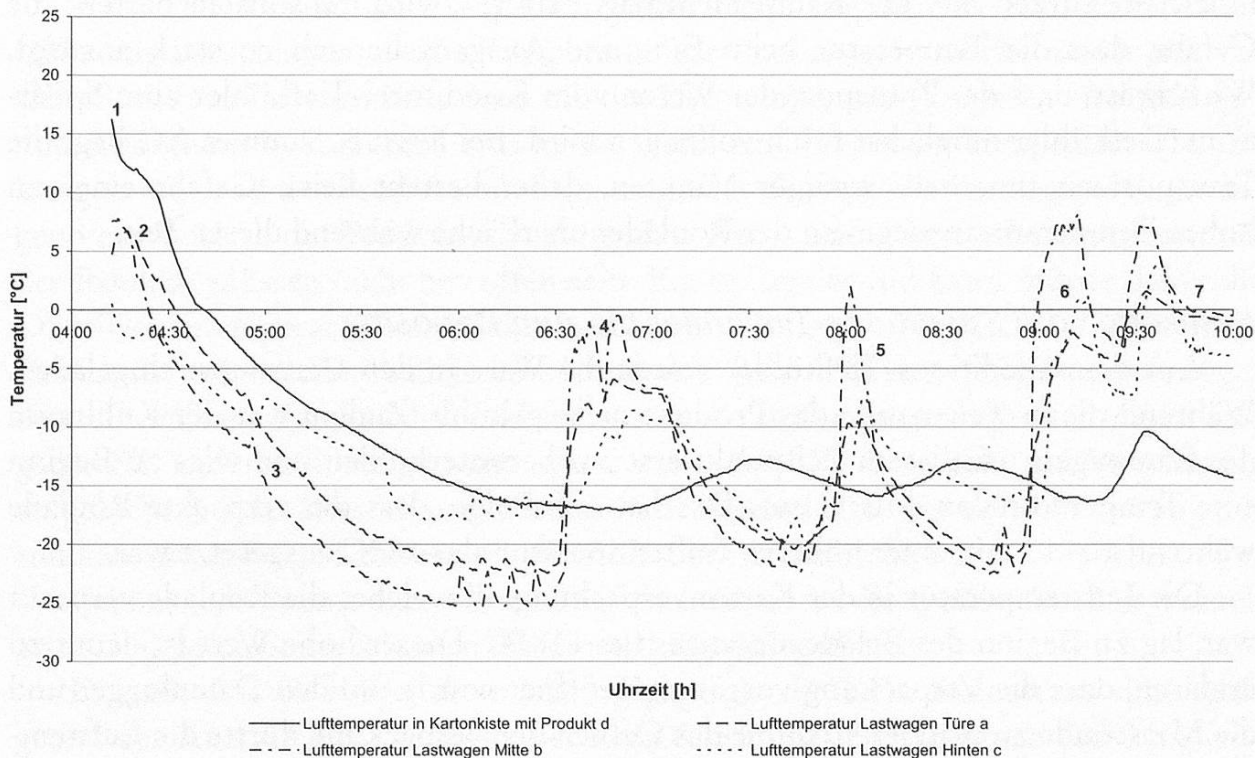


Abbildung 5 Messung der Lufttemperatur im Lastwagen während der Dauer der Auslieferung am 27.04.04. Die Schwankungen der Lufttemperaturen hatten folgende Ursachen: 1 Beladevorgang des Lastwagens, 2 Kühlaggregat wird eingeschaltet, 3 Abfahrt bei Kern & Sammet AG, 4 Entladevorgang in F, 5 Entladevorgang in G, 6 Entladevorgang in B, Lastwagen ist leer, 7 Kühlaggregat wird ausgeschaltet

Diskussion

Kühlkette ab Produktionsende bis zur Lagerung im Speditions-Tiefkühler

Durch die verschiedenen Tätigkeiten (Roulade einstreichen, Verpacken usw.) gab es während der Produktion grosse Schwankungen der Lufttemperatur (Abbildung 3). Diese Schwankungen können jedoch (fast) nicht vermieden werden. Es ist aber wichtig, dass der Verpackungsvorgang des tiefgefrorenen Produktes möglichst rasch ausgeführt wird, um ein starkes Erwärmen der Ware zu vermeiden. Im vorliegenden Fall erwärmte sich die Schokoladenroulade sehr stark, so dass sogar die

Kerntemperatur auf ca. -13°C anstieg. Nach der Lebensmittelverordnung (LMV) Art. 11 Abs. 2 ist dies insofern problematisch, da die Lagerungstemperatur des Produktes an den Randschichten -15°C nicht übersteigen darf. [6]

Während der Lagerung im Konditorei-Kühlraum (Abbildung 3, Nummer 4) betrug die Temperatur ca. -19°C bis -17°C . Die Temperaturschwankungen der Luft in der Verpackung entstanden durch das Öffnen des Kühlraumes. Aus diesem Grund ist es unbedingt erforderlich, die Türen nach Betreten und Verlassen des Tiefkühlraumes sofort zu schliessen. Dies ist auch dann durchzuführen, wenn innerhalb kurzer Zeit der Raum mehrmals betreten wird. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Temperatur beim Ein- und Ausgangsbereich zu stark ansteigt. Wichtig ist, dass der Transport der Waren vom Konditorei-Tiefkühler zum Speditions-Tiefkühler möglichst rasch vollzogen wird. Bei Kern & Sammet AG liegt die Transportzeit innerhalb weniger Minuten, daher besteht keine Gefahr eines zu hohen Temperaturanstieges an der Rouladenoberfläche während dieser Zeit.

Kühlkette vom Speditions-Tiefkühler bis zum Depositär

Aus dem Speditions-Tiefkühler wurde die Ware in den Lastwagen eingeladen. Während dieser Zeit wurde das Produkt nicht gekühlt. Zudem war der Kühlraum des Lastwagens zu diesem Zeitpunkt erst am herunterkühlen und wies zu Beginn eine Temperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ auf. Das hat zur Folge, dass die verpackte Roulade während 10–15 min einer höheren Lufttemperatur als -18°C ausgesetzt war.

Die Lufttemperatur in der Kartonverpackung, in welcher die Roulade verpackt war, lag zu Beginn des Beladevorganges bei $+18^{\circ}\text{C}$. Dieser hohe Wert ist damit zu erklären, dass die Verpackung vorgängig geöffnet wurde um den Datenlogger und die Messsonde zu platzieren. Ohne das Öffnen der Verpackung dürfte die Lufttemperatur um einiges tiefer liegen. Wie Abbildung 4 zeigt, ist die Kühlraumtemperatur des Lastwagens teilweise starken Schwankungen unterworfen. Das ist damit zu begründen, dass der Lastwagen mehrmals an verschiedenen Orten entladen wurde. Zudem hatte sich während der Fahrt zweimal die automatische Abtauung eingeschaltet. Trotz der teilweise beträchtlichen Temperaturschwankungen im Kühlraum veränderten sich die Kerntemperatur der Schokoladenroulade und die Lufttemperatur in der Verpackung während der ganzen Fahrt nicht.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus Abbildung 5 kann ausserdem gesagt werden, wenn die Temperatur bei Standort b (Lastwagenmitte) -18°C ist, dass der ganze Tiefkühlraum eine Temperatur von kleiner -18°C aufweist.

Schlussfolgerung

Die jetzige Kühlkettenüberwachung ist nicht optimal, da die einzelnen Stufen der Kühlkette für sich alleine eine Einheit bilden und keine Informationen bezüglich Verlauf der Temperatur an die nächste Stufe weiterleiten. Es kann keine Aussage über die gesamte Zeit-Temperatur Historie gemacht werden. Mit dem Anbringen

von TTIs auf Lebensmittel könnte jedoch die gesamte Kühlkette integral überwacht, ausgewertet und sichtbar gemacht werden.

Einsatzort und -zeitpunkt des TTI in der Kühlkette

Beim Einsatz eines TTI zur Überwachung der Temperatur-/Zeitbedingungen ist es wichtig, den geeigneten Einsatzzeitpunkt und -ort zu evaluieren. Wird der Indikator unsachgemäss eingesetzt, schlägt dieser zu früh um und der Kunde kauft kein Produkt, welches bereits einen TTI mit einer negativen Aussage aufweist.

Wenn der TTI auf die Verpackungsoberfläche angebracht wird, kann dieser frühzeitig umschlagen, da die Temperatur der Packungsoberfläche weder mit der Oberfläche des Lebensmittels noch mit der Kerntemperatur (Vergleiche Abbildung 4 und Abbildung 5) korreliert. Das heisst, wenn ein TTI wegen Temperaturschwankungen während der Produktion, Lagerung oder Transport umschlägt, nicht zwingend ein Verderb des Produktes vorliegt. Die Kern- und Oberflächentemperaturen der Roulade müssen nicht betroffen sein. Ein optimaler Indikator würde daher die Oberflächentemperatur des Nahrungsmittels anzeigen. Dies ist aus technischer Sicht nicht möglich. Deshalb ist es wichtig, dass jeder TTI eine gewisse, besser sogar eine einstellbare Trägheit hat und nicht sofort auf Temperaturschwankungen reagiert. Ein anderer Lösungsansatz wäre, wenn der TTI innerhalb der Verpackung aufgeklebt würde. Dies könnte wiederum Schwierigkeiten bei der Aktivierung des Indikators zur Folge haben sowie die Ablesbarkeit des Indikators erschweren.

Gibt es jedoch eine einstellbare Trägheitszeit, so ist die Gefahr von Missbrauch gross. Die Mitarbeiter könnten die Einstellung manipulieren.

Es stellt sich die Frage, ab welchem Zeitpunkt die TTIs einzusetzen sind. Aufgrund der Analyse der Kühlkette bei Kern & Sammet AG kommen drei Möglichkeiten in Frage. Diese finden sich alle bei den Schnittstellen zu einer nächsten Stufe der Kühlkette.

1. Einsatz von TTIs direkt nach der Produktion

Durch das Anbringen eines TTIs direkt nach der Produktion ist die gesamte Kühlkette vom Produzenten bis zum Kunden kontrollierbar. Das gibt dem Konsumenten eine grosse Sicherheit, ausserdem könnte diese Eigenschaft marketingmässig ausgelobt werden. Diese Aspekte würden klar für einen Einsatz von TTIs bei der Firma Kern & Sammet AG sprechen. Jedoch ist der Einsatz zum heutigen Zeitpunkt aus mehreren Gründen noch nicht möglich oder zwingend. Erstens sind die TTIs technisch noch nicht in der Lage, alle an sie gestellten Anforderungen (siehe Tabelle 1) zu erfüllen. Besonders hervorzuheben ist das Fehlen eines Indikators bei Tiefkühlprodukten. Zweitens ist die Temperatur im Tiefkühlraum relativ konstant, nur das Öffnen und Schliessen des Raumes lässt die Temperatur um 1–2 °C ansteigen (siehe Abbildung 1). Zudem wird der Tiefkühlraum mit mehreren Temperatursonden überwacht, was ein Einsatz von TTIs nicht zwingend macht. Drittens sind die Produkte bis zu sechs Monate im Tiefkühlraum, das heisst, die TTIs müssen eine

enorm lange Funktionsdauer aufweisen. Dies hat wiederum einen Einfluss auf die Trägheitszeit.

Tabelle 1

Anforderungen, die an einen Time-Temperature-Indicator gestellt werden

einstellbare Trägheitszeit	klare Aussage
klare Auswertung	zuverlässig
billig im Preis	lange Haltbarkeit
klein und handlich	keine toxische Wirkung
Einsetzbar in high-speed Verpackungsprozess	unabhängig von externen Faktoren wie z.B. Luftfeuchtigkeit
irreversibel	produktabhängig
leichte Aktivierung	für Tiefkühltemperaturen einsetzbar

Die Trägheitszeit des Indikators ist abhängig von den äusseren Bedingungen. Wird das Produkt über längere Zeit im Tiefkühlraum gelagert, so ist eine Trägheitszeit von mehreren Stunden notwendig. Der Grund dafür ist aus Abbildung 3 ersichtlich. Die Temperatur des Tiefkühlraumes unterschreitet während 2–3 Stunden die Marke von -18°C um $1-2^{\circ}\text{C}$. Daher müsste die Trägheitszeit des Indikators auf mindestens 3 Stunden bemessen sein, damit nach einer sechsmonatigen Lagerdauer die Anzeige des TTI's nicht bereits umgeschlagen ist. Beim Transport im Lastwagen, welcher dagegen nur wenige Stunden dauert, muss die Trägheitszeit des Indikators kurz sein, da grosse Temperaturschwankungen innert kürzester Zeit auftreten können (siehe Abbildung 4). Wäre die Trägheitszeit gleich lang wie bei der mehrmonatigen Lagerung im Tiefkühlraum, so würden relevante Temperaturschwankungen nicht erfasst werden.

Damit der gleiche TTI in beiden Situationen eingesetzt werden kann, müsste die Trägheitszeit kurz sein. Die Umschlagsgeschwindigkeit wird dann über die Grösse der Temperaturschwankungen geregelt. Je höher diese sind, umso schneller und stärker schlägt der TTI um. Das bedeutet, dass während einer sechsmonatigen Lagerdauer mit zwischenzeitlichen Temperaturschwankungen von $1-2^{\circ}\text{C}$ nur geringe Auswirkungen auftreten. Wird im Lastwagen jedoch innerhalb einer Stunde die Temperatur um 10°C erhöht, hat dies markante Auswirkungen auf die Frische des Produktes.

Da die TTIs zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht im gewünschten Masse einsatzfähig sind, ist von einem Einsatz für Produkte mit einer längeren Haltbarkeit direkt nach der Produktion abzusehen. Falls die Waren nur kurz zwischengelagert werden (Frischprodukte), macht ein Einsatz hier durchaus Sinn.

2. Einsatz vor der Auslieferung

Wird der TTI erst vor der Auslieferung auf die Verpackung aufgebracht, so kann die lange Einsatzzeit des Indikators beträchtlich vermindert werden, da die vorgängige Lagerung nicht mehr mit einbezogen wird. Das Problem mit der Trägheit des TTI besteht jedoch weiterhin.

Während der Fahrt treten beim Be- und Entladen relativ grosse Temperaturschwankungen im Lastwagen auf (siehe Abbildung 4). Dies stellt grosse Anforderungen an die Eigenschaften des TTI. Die Lufttemperatur in der Verpackung ändert sich jedoch nicht, wie aus Abbildung 4 ersichtlich ist. Aus diesem Grund wäre es am sinnvollsten, den TTI innerhalb der Verpackung aufzubringen, um die starken Temperaturschwankungen zu eliminieren. Dadurch entsteht aber der Nachteil, dass der Indikator von aussen nicht mehr sichtbar ist und zudem die Aktivierung erschwert wird.

Je nach Eigenschaften des TTI ist ein Einsatz hier nur bedingt sinnvoll. Der TTI ist vor der Auslieferung aufzubringen, wenn dessen Einsatzzeit begrenzt ist und nur für kurze Zeit funktioniert. Ansonsten macht es mehr Sinn, wenn er bereits nach der Produktion eingesetzt wird, da somit die ganze Zeit-Temperatur-Historie sichtbar gemacht werden kann.

3. Beim Kunden

Die dritte Möglichkeit des Anbringens eines Time-Temperature-Indicators wäre beim Kunden. Das heisst, dass der Konsument selber einen Indikator anbringt und somit ein weiteres «Hilfsmittel» für die Haltbarkeit besitzt. Das setzt aber eine vorgängige Schulung voraus mit einer Sensibilisierung über den Umgang mit Tiefkühlprodukten sowie eine Motivation des Konsumenten, einen TTI anzubringen.

Des Weiteren stellt sich hier die Frage, inwiefern dies dem Konsumenten einen Nutzen bringt. Den Kunden interessiert vor allem, ob die vorgängige Kühlkette funktioniert hat und nicht, ob seine eigene den gesetzlichen Anforderungen entspricht. So wird der Kunde nach dem Umschlagen des TTI's zuerst beim Hersteller Ersatz fordern, anstatt in der eigenen Tiefkühltruhe die Temperatur zu kontrollieren. Der Einsatz von TTI auf der Verpackung des Endkunden könnte auch einen präventiven Einfluss haben, indem auf die Wichtigkeit einer intakten Kühlkette zuhause hingewiesen wird. Denn die Optimierung der Kühlkette beim Kunden wäre absolut zwingend für einen erfolgreichen Einsatz der Indikatoren.

Anforderungen an Time-Temperature-Indicators

Durch die Evaluation der Kühlkette und der Diskussion konnten die in Tabelle 1 dargestellten Anforderungen an Time-Temperature-Indicators formuliert werden. Die heutige Technik kann diese Anforderungen (noch) nicht erfüllen. Sämtliche der uns bekannten TTIs weisen in einigen Bereichen Schwächen auf. Das grösste Hindernis scheint die tiefe Temperatur zu sein. So gibt es auf dem weltweiten Markt unseres Wissens keinen Anbieter, der TTIs für Tiefkühlprodukte produziert. Für Frischeprodukte wäre ein Einsatz aber heute durchaus mit dem TTI von Pago AG möglich.

Schlussfolgerung 2

Damit Time-Temperature-Indicators in einen Betrieb eingeführt werden können, müssen vier verschiedene Bereiche vorgängig charakterisiert werden:

- der Time-Temperature-Indicator (Evaluation der Kinetik, Trägheitszeit, Qualität)
- das Produkt (Erstellung von Frischkurven)
- die Kühlkette (Aufnehmen der Kühlkette und evtl. Optimierung derselben)
- der Konsument (Sensibilisierung der Haltbarkeit und der Indikatoren)

Bei der Kinetik des TTIs geht es um die Abklärung, wie schnell der TTI bei verschiedenen Temperaturen reagiert. Zudem muss die Trägheitszeit evaluiert werden und es braucht eine Qualitätskontrolle der Indikatoren. Die WHO hat eine Testmethode für TTIs für den Einsatz bei Impfstoffen definiert, um die Qualität der Indikatoren festzustellen [7]. Darin wird ein aufwändiges Verfahren beschrieben, bei dem 500 Indikatoren in einem Wasserbad (Temperatur $\pm 0,2^\circ\text{C}$) untersucht werden müssen. Nur wenn die TTIs diesen Anforderungen gerecht werden, können sie für die Impfstoffüberwachung eingesetzt werden. Diese Methodik gilt es zu optimieren und zu verbessern.

Als zweites muss das Produkt, auf dem der Indikator angewendet werden will, charakterisiert werden. Das heisst, es braucht Frischkurven (mikrobiologische, chemisch-physikalische und sensorische Kurven) des Lebensmittels, die aussagen, ab welchem Zeitpunkt dieses Produkt die gesetzlichen Anforderungen und die qualitativen Ansprüche nicht mehr erfüllt. Als weiteres muss untersucht werden, ob die bei Punkt eins ermittelte Kinetik des TTIs mit der Frischkurve des Lebensmittels korreliert. Ohne diese zwei vorgängigen Abklärungen macht einen Einsatz des TTIs keinen Sinn, denn die Kinetik des TTIs muss die gleiche sein wie die Abnahme der Frische des Lebensmittels, um die verbleibende Haltbarkeit des Lebensmittels anzuzeigen.

Ein ebenfalls wichtiger Punkt ist eine Analyse der Kühlkette. Es muss gewährleistet sein, dass die Kühlkette einwandfrei funktioniert, denn Time-Temperature-Indicators sind nicht dazu da, Fehler in der Kühlkette zu finden (diese sollten vorgängig durch die Analyse eruiert werden), sondern aufzuzeigen, dass eine intakte Kühlkette vorhanden ist. Am Schluss des Einführungsprozesses muss in einem ersten Schritt der Händler auf die Bedeutung der Kühlkette bzw. Indikatoren sensibilisiert werden. Denkbar wäre ein Einsatz eines Indikators als vereinfachte Wareneingangskontrolle oder als Haltbarkeitsbasierendes-Inventar-Managementsystem. [8]

Falls dieser gesamte Prozess erfolgreich abgeschlossen wurde, kann überlegt werden, ob ein Einsatz eines TTIs bis zum Endkonsumenten machbar ist.

Ein Einführungsprozess wie beschrieben hat aber nur Vorteile für den Anwender: Es wurde die Kühlkette überprüft und es kann davon ausgegangen werden, dass diese beherrscht wird; die Produktsicherheit wird dadurch erhöht und gleichzeitig die Frische sichtbar gemacht. Des Weiteren werden die Haltbarkeitsdaten nicht mehr willkürlich bestimmt, sondern wissenschaftlich fundiert festgelegt.

Gesamtbetrachtend kann gesagt werden, dass Time-Temperature-Indicators sehr viel versprechend sind. Zum heutigen Zeitpunkt sind aber die auf dem Markt vorhandenen Indikatoren nur bedingt einsetzbar. Der grösste Mangel überhaupt ist die fehlende Einsetzbarkeit im Tiefkühlbereich. Daher wäre ein Einsatz bei Frischeprodukten vorzuziehen. Mit dem TTI der Firma Pago AG ist das heute schon möglich. Ein sehr wichtiges Fazit ist, dass eine Analyse und Optimierung der Kühlkette vor der Einführung dieser Indikatoren zwingend sein muss. Bedeutsam ist zudem, dass der richtige Time-Temperature-Indicator ausgewählt wird. Er sollte möglichst alle Anforderungen, die bei der Evaluation aufgezeigt wurden, erfüllen.

Es ist noch in allen vier erwähnten Bereichen (TTI, Frischekurven des Lebensmittels, Kühlkettenanalyse und Kundensensibilisierung) Forschungsarbeit zu leisten. Im Vordergrund stehen eine vereinfachte Qualitätskontrolle von TTIs, Erstellen von Frischekurven sowie die Evaluation der Kundenakzeptanz von solchen Indikatoren.

Dank

Der Firma Kern & Sammet AG in Wädenswil sei an dieser Stelle für die freundliche Unterstützung der Arbeit gedankt.

Zusammenfassung

Die Einhaltung vorgegebener Temperaturen ist eine wichtige Voraussetzung, um die Qualität und Sicherheit eines Lebensmittels zu gewährleisten. Als Hilfsmittel zur Visualisierung der korrekten Temperatur könnten sog. Time-Temperature-Indicators (TTIs) dienen, die Rückschlüsse auf die Temperaturbedingungen, bei denen ein Produkt gelagert wurde, erlauben. In dieser Arbeit wurde untersucht, wo im Produktfluss TTIs eingesetzt werden können und welche Probleme in der Kühlkette entstehen.

Bei der Firma Kern & Sammet AG in Wädenswil konnte durch die modellhafte Aufnahme der Kühlkette mittels Datenloggern in Lastwagen und Kühllhäusern evaluiert werden, dass der Einsatz von Time-Temperature-Indicators direkt nach der Produktion eines (frischen) Lebensmittels am sinnvollsten ist. So kann die gesamte Zeit-Temperatur-Historie des Lebensmittels sichtbar gemacht werden. Eine Alternative wäre das Anbringen des TTIs vor der Auslieferung oder erst beim Kunden. Es konnte zudem gezeigt werden, dass bei den Schnittstellen der einzelnen Stufen der Kühlkette (Kerntemperaturerhöhung des Produktes beim Verpacken von -23°C auf -2°C) und bei der Auslieferung der Produkte im Kühllastwagen (Lufttemperaturschwankungen von -28°C bis 0°C) die grössten Probleme auftreten. Ein TTI muss somit vielen Anforderungen (Einstellbare Trägheitszeit, Produktabhängig, lange Einsatzdauer usw.) gerecht werden, damit er in einem Betrieb (Prozess) eingesetzt werden kann.

Résumé

Afin d'assurer la qualité et la sécurité des denrées alimentaires il est nécessaire de respecter les températures de conservation prescrites. Les Time-Temperature-Indicators (TTIs) sont de petites étiquettes bon marché collées sur l'emballage d'un produit alimentaire et qui permettent la visualisation de l'état de fraîcheur de l'aliment en question. L'étiquette se colore par effet combiné du temps et de la température et permet ainsi d'évaluer l'historique de cet aliment. La présente étude a pour but de définir à quelle étape de la vie du produit les TTIs doivent être premièrement, « collés » sur l'emballage, puis deuxièmement, activés.

Une modélisation de la chaîne du froid au moyen d'enregistreurs de données dans des camions de transport réfrigérés ainsi que des chambres froides a été effectuée au sein de l'entreprise Kern & Sammet SA à Wädenswil. Les résultats indiquent qu'un TTI devrait idéalement être apposé et activé dès la fin de la production du produit. Ainsi, tout l'historique de la denrée alimentaire peut être visualisé à l'aide du TTI. Une alternative serait avant la livraison ou chez le client. Il a également été démontré que les problèmes se situent entre les différentes étapes de la chaîne du froid (hausse de la température à cœur de -23°C à -2°C durant le procédé d'emballage) ainsi que lors du chargement des camions réfrigérés (hausse de la température de l'air de -28°C à 0°C). Un TTI doit posséder bon nombre de caractéristiques afin de pouvoir être utilisé en entreprise (adaptable au produit, inertie variable, bonne conservation, ...).

Summary "Possibilities and hindrances concerning the introduction of Time-Temperature-Indicators"

The adherence to given temperatures is an important condition, in order to ensure the quality and security of food. Time-Temperature-Indicators (TTIs) could be helpful for the visualisation of the correct Temperature of Food. A TTI can be defined as a simple, inexpensive device that can show an easily measurable, time-temperature dependent change that reflects the full or partial temperature history of a food product to which it is attached. In this paper was examined, where TTIs can be employed in the Food process and which problems in the cold chain develop.

At the Company Kern & Sammet AG in Wädenswil could be evaluated by the modelful admission of the cooling chain with data loggers in refrigerated trucks and cold-storage depots that the application of Time-Temperature-Indicators is most meaningful directly after the production of (fresh) food. So the entire time temperature history of the food can be made visible. An alternative would be the attachment of the TTIs before the distribution or at the customer. Moreover, it could shown that with the interfaces of the individual stages of the cooling chain (core temperature of the product rise when packing from -23°C to -2°C) and with the distribution of the products in the refrigerated truck (air temperature fluctuations from -28°C to 0°C) the largest problems arise. A TTI must meet many demands

(adjustable inertia time, product dependance, long length of application etc.) that it can be used in an enterprise (process).

Key words

Cold chain, frozen food, shelf life, logistic, Time-Temperature-Indicators

Literatur

- 1 *Anonym*: Auslagerung von leichtverderblichen Produkten, Mitt. aus Lebensm. und Hyg. **94**, 340–341 (2003)
- 2 *Kantonales Laboratorium Bern*: Mikrobiologische Kontrolle der gewerblichen Milchverarbeitung, Jahresbericht, 28–29 (2004)
- 3 *Kantonales Laboratorium Bern*: Mikrobiologische Qualität von geräuchertem Fisch, Jahresbericht, 47 (2004)
- 4 *Taoukis P.S. and Labuza T.P.*: Time-Temperature-Indicators (TTIs), Novel Food Packaging Techniques, Woodhead Publishing, 103–126 (2003)
- 5 *Kreyenschmidt J., Peters N., Petersen B. und Kunz B.*: Weiterentwicklung von Methoden zur Überprüfung der Einhaltung der Kühlkette bei frischen Lebensmitteln. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL 107, 16–17 (2003)
- 6 *Eidgenössisches Departement des Innern*: Lebensmittelverordnung (LMV) vom 1. März 1995 (Stand am 22. Februar 2005) <http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/817.02.de.pdf> (24.05.2005)
- 7 *Kristensen D.*: Test Procedures for Vaccine Vial Monitors for all Vaccines, (2002) <http://www.who.int/vaccinesaccess/vacman/vvm/06.VVM%20test%20procedures%2025%20March%202002.doc> (24.05.2005)
- 8 *Kishor G. and Navneet B.*: Shelf Life Based Perishable Inventory Management, (2001) <http://www.infosys.com/Technology/ShelfLifeBasedPerishableInventoryManagement.pdf> (24.05.2005)

Korrespondenzadresse: Thomas M. Lüthi, Hochschule Wädenswil, Grüental, 8820 Wädenswil, E-Mail: t.luethi@hsw.ch, Homepage: www.iqfs.ch