

*Institut für Landtechnik*  
*Professur für Haushalts- und Verfahrenstechnik*  
*Prof. Dr. rer. nat. Rainer Stamminger*

---

**Distributions-, Transport- und Lagerungsmodell (DTL-Modell) zur Prognose des  
Frischeverlustes kühlbedürftiger Lebensmittel**

**Inaugural-Dissertation**

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

(Dr.-Ing.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt am: 31.05.2007

von

Dipl.-Ing. Thomas Lettmann

aus

Bonn

*Referent: Prof. Dr. rer. nat. Rainer Stamminger*

*Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Benno Kunz*

*Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juli 2007*

*Erscheinungsjahr: 2007*

# Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, Zusammenhänge zwischen Schwankungen der Umgebungstemperatur eines Produktes in der Kühlkette vom point of sale bis zur Kühlschranklagerung im Haushalt mit Hilfe eines Simulationsmodells abzubilden. Darüberhinaus galt es, auf Grundlage des Modells Auswirkungen auf die Haltbarkeit des Produktes zu prognostizieren. Der Modellbildung lagen aus der Literatur und eigenen Erhebungen bekannte Eckdaten bezüglich Lagerdauer und Lagerbedingungen sowie Erkenntnisse über den spezifischen Verderb der Lebensmittel zugrunde.

Im Mittelpunkt der eigenen Arbeit standen Ergebnisse aus Zeitreihenmessungen zur Ermittlung der Produkterwärmung sowie der Verderbskinetik von MAP-Schweinehackfleisch und Lachsforellen (*Oncorhynchus mykiss*). Ergänzt wurden die Untersuchungen durch empirische Studien zum Einkaufs- und Lagerungsverhalten der Konsumenten. Gemeinsam dienten diese Daten und Erfahrungswerte als Rahmendaten für ein dynamisches Distributions- Transport- und Lagerungsmodell (DTL-Modell), das dann in ein mathematisches Modell umgesetzt wurde.

Neben 12 isothermen Zeitreihen wurden insgesamt 26 DTL-Szenarien im Rahmen dynamischer Temperaturbedingungen nachgebildet. Die Messreihen lieferten insgesamt 2954 Frischedaten (= Einzeldaten) für das Simulationsmodell.

Die Temperaturabhängigkeit der ausgewählten Frischeparameter von MAP-Hackfleisch sowie der Lachsforellen wurde mit zwei unterschiedlichen Temperatur-Response-Funktionen dargestellt (O'Neill, Arrhenius). In Kombination mit unterschiedlichen Anpassungsfunktionen wurden verschiedene Frischeparameter-Modell-Kombinationen verglichen und die zuverlässigste Kombination als Basis für das Simulationsmodell ausgewählt.

# Abstract

The ambition of this work was the description of the interrelationship between storage-temperatures of food products in the cold-chain from the point of sale to the storage in private homes with the application of a simulation-model.

Thereby it is essential to predict the impact of different storage conditions on products shelf-life. The model development is based upon information concerning storage temperatures and sojourn time for three different steps of the cold chain as well as the knowledge of the specific spoilage process of the food product.

In focus of the own approach were results from time-series to determine the effects concerning product-warming and the spoilage-kinetic from MA-packed (modified atmosphere) minced-pork and rainbow-trouts (*Oncorhynchus mykiss*) under isothermal and non-isothermal conditions. The time-series were completed by empirical studies concerning shopping and storage behaviour of the consumer. In combination these information are the framework of a dynamic Distribution-, Transport- and storage-model, which was transferred into a mathematical model.

Beside 12 isothermal time series 26 DTS-Szenarios (Distribution/Transport/Storage) were conducted in form of dynamic time series. The measurements delivered overall 2954 freshness-dates (=individual dates) for the simulation-model.

The temperature dependency of the measured freshness-parameters of MA-packed minced pork and rainbow-trouts were described with two different temperature-response-functions (O'Neill, Arrhenius). In combination with different adapted growth functions several freshnessparameter model combinations were compared and the best combination chosen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Grundlagen</b> .....	2
<b>2.1 Haltbarkeit und Verderb kühlbedürftiger Lebensmittel</b> .....	2
2.1.1 Definition des Begriffs Haltbarkeit .....	2
2.1.2 Beschreibung des Verderbs von Lebensmitteln .....	3
<b>2.2 Modellierung des Frischeverlustes kühlbedürftiger Lebensmittel</b> .....	8
2.2.1 Modellansätze zur Beschreibung der Verderbskinetik .....	8
2.2.2 Modellierung von Wärmeübergängen .....	18
<b>2.3 Charakterisierung der Lagerbedingung kühlbedürftiger Lebensmittel</b> ...	21
2.3.1 Stufen unterschiedlicher Kühlketten .....	21
2.3.2 Verderbsgrenzen kühlbedürftiger Lebensmittel .....	26
<b>3 Ziel der Arbeit</b> .....	30
<b>4 Material und Methoden</b> .....	31
<b>4.1 Beschreibung eines Distributions-, Transports- und Lagermodells</b> .....	31
4.1.1 Definition eines DTL-Prozessmodells .....	33
4.1.2 Charakterisierung Produkt-, Belastungsvarianten und Verbrauchertypen ...	34
4.1.3 Produktspezifische Ausrichtung der Modellkomponenten .....	38
4.1.4 Modell-Komponenten eines Systemmodells .....	39

<b>4.2</b>	<b>Untersuchung von Frischeparametern und Temperaturverläufen</b> .....	43
4.2.1	Probenmaterial .....	43
4.2.2	Probenvor-, -aufbereitung und Lagerung .....	44
4.2.3	Mikrobiologische Untersuchungen .....	45
4.2.4	Sensorische und physikalische Untersuchungen .....	47
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	53
<b>5.1</b>	<b>Ergebnisse Hackfleisch</b> .....	53
5.1.1	Veränderung der Parameter in den Zeitreihenmessungen .....	53
5.1.2	Anpassung produktspezifischer Zustandsgrößen an statische und dynamische Temperaturverläufe .....	65
5.1.3	Ergebnisse von Simulationsläufen auf Basis haushaltstypischer Szenarien ..	75
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse Lachsforellen</b> .....	81
5.2.1	Veränderung der Parameter in den Zeitreihenmessungen .....	81
5.2.2	Anpassung produktspezifischer Zustandsgrößen an statische und dynamische Temperaturverläufe .....	85
<b>6</b>	<b>Diskussion</b> .....	94
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	106
	Literaturverzeichnis .....	109
	Abbildungsverzeichnis .....	127
	Tabellenverzeichnis .....	131
<b>A</b>	<b>Anhang</b> .....	135