

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

---

**Innovative storage concepts in private home refrigeration**

**I n a u g u r a l – D i s s e r t a t i o n**

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Ernährungs- und Haushaltswissenschaft  
(Dr. oec. troph.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt am 09.10.2007

von

Dipl. oec. troph. Astrid Klingshirn

aus

Regensburg

(D 98)

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

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

Tag der mündlichen Prüfung: 14.12.2007

Schriftenreihe der Haushaltstechnik Bonn

Band 2/2008

**Astrid Klingshirn**

**Innovative storage concepts  
in private home refrigeration**

D 98 (Diss. Universität Bonn)

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Bonn, Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2008

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6988-3

ISSN 1863-320X

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Zusammenfassung**

### **Innovative Lagerkonzepte in Haushaltskühlgeräten**

Die Qualität der Lebensmittellagerung im privaten Haushalt wird maßgeblich durch die Lagertemperatur bestimmt. Daneben spielen die Luftfeuchte sowie die Zusammensetzung der Lageratmosphäre eine entscheidende Rolle für die Aufrechterhaltung der Ausgangsqualität von Frischeprodukten.

Aus der Analyse der Lagerprobleme im privaten Haushalt, den produktspezifischen Lageranforderungen von Lebensmitteln sowie den Lagergegebenheiten in Haushaltskältegeräten werden in der vorliegenden Arbeit Potenziale zur Verbesserung von Lagersystemen, mit dem Schwerpunkt pflanzlicher Lebensmittel und Brotwaren, analysiert. Es stehen hierbei die Qualitätserhaltung sowie die Verlängerung der Haltbarkeit auf Basis innovativer Lagerkonzepte im Vordergrund.

Mittels sensorischer Analytik und Frischmassebewertung werden die Effekte von Lageratmosphärenreinigung, modifizierter Atmosphärenlagerung und kontrollierter Feuchtebedingungen auf Obst- und Gemüseprodukte in Kältegeräten analysiert und konventionellen Lagerbedingungen gegenübergestellt. Bei Lagerung in einer Gemüseschale mit Mischbeladung kann eine verbesserte Haltbarkeit durch den Einsatz von Ethylenabsorbentien zur Lageratmosphärenreinigung nachgewiesen werden. Die Anwendung modifizierter Lageratmosphären auf Basis von Unterdrucklagerung und Stickstoffanreicherung bieten im privaten Haushalt Vorteile durch eine Verringerung von Transpirations- und Respirationverlusten. Auch die luftdichte Lagerung bietet bei gleichzeitiger Temperaturkontrolle durch Gewährleistung des Frischmasseerhalts optimierte Lagerbedingungen.

Im Bereich der Brotlagerung werden die Effekte von Kühlschranklagerung bei verschiedenen Temperaturniveaus sowie einer Koppelung von Kühlschranklagerung mit modifizierten Atmosphären auf die Brothärteentwicklung und sensorische Qualität ermittelt. Je niedriger die gewählte Lagertemperatur ist, desto stärker ausgeprägt ist die Brothärteentwicklung. Diese Lagerunterschiede können jedoch sensorisch vom Verbraucher nicht klar differenziert werden, v.a. mit Zunahme der Lagerdauer. Da erniedrigte Temperaturen die Lagerdauer durch die Eindämmung des mikrobiellen Verderbs erhöhen, bietet die Kühlschranklagerung dem Verbraucher Vorteile. Modifizierte Atmosphären bieten hier keine zusätzlichen Lagervorteile.

## **Abstract**

### **Innovative storage concepts in private home refrigeration**

The most important factor for food storage quality in private homes is storage temperature. Next to temperature, storage humidity and storage atmosphere have a huge impact on quality retention in perishable goods.

Based on a close analysis of main storage problems in private homes, the identification of product specific storage requirements and the description of the current status in private home refrigeration storage, improvement potentials in home storage concepts are evaluated. Quality retention as well as shelf life extension properties of innovative home storage concepts are analysed with special focus on fruit and vegetable and bread storage.

The benefits of storage atmosphere cleaning, modified atmosphere storage and humidity control on fresh produce storage in home refrigeration are analysed in comparison with conventional storage systems. The basis of evaluation are sensory evaluation and fresh weight retention analysis.

The positive effects of ethylene removal from a mixed crisper load are shown. The application of modified atmosphere storage in private homes, in terms of low pressure and N<sub>2</sub> storage, show storage benefits as transpiration losses are reduced along with a reduction in respiration activity. It is shown that airtight storage concepts have a high potential in ensuring quality retention due to humidity control, low temperature levels provided.

The impact of different refrigerator temperature levels and modified atmosphere storage on bread firmness development and sensory quality is analysed in a bread storage concept evaluation. Even though reduced storage temperatures result in increased bread firmness, the consumer is not able to differentiate low temperature stored breads from conventionally stored breads by sensory analysis. As reduced temperature levels increase shelf life as microbial growth is slowed down, chilled bread storage offers storage benefits. Home scale modified atmospheres show no impact on sensory quality improvement or microbial control.

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Food storage in private homes .....</b>	<b>2</b>
1.1.1	Consumer food handling and storage knowledge .....	2
1.1.2	Food loss and discard practices in private homes .....	4
<b>1.2</b>	<b>Home refrigeration .....</b>	<b>5</b>
1.2.1	Refrigerating circuit principle .....	5
1.2.2	Refrigerator layout.....	6
<b>1.3</b>	<b>Food storage requirements and recommendations.....</b>	<b>8</b>
1.3.1	Food quality .....	8
1.3.2	Food categorization .....	9
1.3.3	Storage climate parameters.....	10
1.3.3.1	Storage temperature .....	10
1.3.3.2	Storage humidity .....	11
1.3.3.3	Storage atmosphere .....	12
1.3.3.4	Air circulation .....	15
1.3.3.5	Food storage and illumination .....	15
<b>1.4</b>	<b>Specific storage requirements.....</b>	<b>17</b>
1.4.1	Fruit and vegetable products.....	18
1.4.2	Bread.....	23
<b>2</b>	<b>Objective.....</b>	<b>25</b>

<b>3</b>	<b>Material and Methods</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Refrigerators</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Humidity controlled and modified atmosphere storage</b> .....	<b>27</b>
3.2.1	Storage compartments .....	27
3.2.1.1	Storage compartments in modified atmosphere analysis.....	27
3.2.1.2	Storage compartments in humidity control analysis .....	29
3.2.2	Test material .....	30
3.2.2.1	Fresh produce .....	30
3.2.2.2	Evaporation measuring cells .....	30
3.2.3	Keeping quality analysis.....	31
3.2.3.1	Fresh weight retention.....	31
3.2.3.2	Sensory analysis.....	32
3.2.4	Ethylene reduction analysis .....	33
3.2.4.1	Ethylene scavenger material .....	33
3.2.4.2	Gas chromatographic analysis .....	33
3.2.4.3	Fresh produce analysis .....	35
<b>3.3</b>	<b>Bread analysis</b> .....	<b>37</b>
3.3.1	Bread products .....	37
3.3.2	Bread storage conditions .....	38
3.3.3	Keeping quality analysis.....	39
3.3.3.1	Firmness measurement.....	39
3.3.3.2	Sensory analysis.....	39
<b>3.4</b>	<b>Storage parameter measurements</b> .....	<b>40</b>
3.4.1	Temperature and humidity measurement .....	40
3.4.2	Storage atmosphere measurement .....	41
3.4.2.1	Gas measurement .....	41
3.4.2.2	Low pressure measurement.....	41
<b>3.5</b>	<b>Statistical methods</b> .....	<b>41</b>
<b>3.6</b>	<b>Systematic errors</b> .....	<b>42</b>



<b>4</b>	<b>Results</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Impact of passive and active atmosphere control in home refrigeration on fruit and vegetable storage</b> .....	<b>43</b>
4.1.1	Impact of ethylene control on keeping quality in fresh produce .....	43
4.1.1.1	Ethylene reduction activity of scavenger material.....	43
4.1.1.2	Ethylene reduction activity at ambient temperature .....	44
4.1.1.3	Ethylene reduction activity in cold storage.....	46
4.1.2	Impact of passive humidity control on fresh weight retention .....	52
4.1.2.1	Fresh weight retention in conventional storage systems .....	52
4.1.2.2	Fresh weight retention in humidity controlled storage .....	54
4.1.3	Impact of modified atmospheres on keeping quality of fresh produce ..	56
4.1.3.1	Functional design of modified atmosphere storage .....	56
4.1.3.2	Impact of modified atmosphere storage on fresh weight retention .....	58
4.1.3.3	Impact of modified atmosphere storage on sensory quality .....	60
<b>4.2</b>	<b>Impact of storage temperature and atmosphere on bread quality</b> .....	<b>64</b>
4.2.1	Impact of storage temperature on bread quality .....	64
4.2.1.1	Temperature effects on bread firmness development over time.	64
4.2.1.2	Temperature effects on sensory quality in bread over time.....	67
4.2.2	Impact of modified atmosphere storage on bread quality over time .....	69
<b>5</b>	<b>Discussion</b> .....	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Improvement potentials in refrigerator fruit and vegetable storage</b> .....	<b>72</b>
5.1.1	Application potential of ethylene scavengers in home refrigeration.....	72
5.1.2	Impact of refrigerator storage systems on fresh weight retention .....	77
5.1.2.1	Impact of conventional refrigerator storage on fresh weight retention .....	77
5.1.2.2	Impact of passive humidity control on fresh weight retention ...	79
5.1.2.3	Recommendations for humidity control layout in refrigerators .	80

5.1.3	Application potential of modified atmosphere storage in fresh produce storage .....	82
5.1.3.1	Requirements for technical design in modified atmosphere storage in home refrigeration .....	82
5.1.3.2	Storage benefits of modified atmosphere storage in home refrigeration.....	86
<b>5.2</b>	<b>Benefits of refrigerated bread storage .....</b>	<b>88</b>
5.2.1	Impact of storage temperature on keeping quality in bread .....	88
5.2.2	Impact of modified atmosphere storage on keeping quality in bread ....	90
5.2.3	Bread storage recommendations.....	92
<b>6</b>	<b>Conclusion and future prospects.....</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>References.....</b>	<b>98</b>
	<b>List of Abbreviations .....</b>	<b>116</b>
	<b>List of Tables .....</b>	<b>118</b>
	<b>List of Figures.....</b>	<b>120</b>
	<b>Appendix</b>	
	<b>Acknowledgements</b>	
	<b>Curriculum vitae</b>	