

Strömungs- und Transportvorgänge in Rohwurstreifungsanlagen

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

Fakultät Naturwissenschaften
Universität Hohenheim

Institut für Lebensmitteltechnologie

vorgelegt von
Michael Hermle

aus Spaichingen
2005

Die vorliegende Arbeit wurde am 26.01.2006 von der Fakultät Naturwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften“ angenommen.

Dekan	: Prof. Dr. rer. nat. H. Breer
1. berichtende Person	: Prof. Dr. A. Fischer
2. berichtende Person	: Prof. Dr. V. Kottke
Eingereicht am	:29.11.2005
Mündliche Prüfung am	:10.02.2006

Berichte aus der Lebensmitteltechnologie

Michael Hermle

**Strömungs- und Transportvorgänge
in Rohwurstreifungsanlagen**

D 100 (Diss. Universität Hohenheim)

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2006

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4914-1

ISSN 1614-273X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Meiner Familie gewidmet

1	EINLEITUNG	1
2	GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT	3
2.1	ROHWURST	3
2.2	HERSTELLUNG VON SCHNITTFESTER ROHWURST	3
2.3	PARAMETER BEI DER HERSTELLUNG VON ROHWÜRSTEN	5
2.3.1	EINFLUSS INTERNER FAKTOREN AUF DIE REIFUNG UND TROCKNUNG.....	7
2.3.2	EINFLUSS EXTERNER FAKTOREN AUF DIE REIFUNG UND TROCKNUNG.....	8
2.3.2.1	Temperatur	8
2.3.2.2	Relative Luftfeuchtigkeit	9
2.3.2.3	Luftgeschwindigkeit	12
2.3.2.4	Zeit	13
2.4	TROCKNUNG	14
2.4.1	ALLGEMEINES	14
2.4.1.1	Trocknungsvorgang.....	14
2.4.1.2	Trocknungsverlauf	15
2.4.2	ROHWURSTTROCKNUNG	18
2.4.3	WASSERTRANSPORT IM WURSTINNEREN DURCH DIFFUSION	19
2.4.4	KONVEKTIVER MASSENSTROM VON DER WURSTOBERFLÄCHE.....	21
2.5	STRÖMUNG	22
2.5.1	STRÖMUNGSTECHNISCHE GRUNDLAGEN	22
2.5.2	STRÖMUNG IN KANÄLEN.....	23
2.5.2.1	Zuluftkanäle	23
2.5.2.2	Absaugkanäle	25
2.5.2.3	Luftdurchlässe	26
2.5.3	LUFTSTRÖMUNGEN IM RAUM.....	27
2.5.3.1	Freistrahlen.....	27
2.5.3.2	Luftführungsarten.....	29
2.5.3.3	Coanda-Effekt	30
2.5.4	STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE IN DEN WURSTBÜNDELN.....	31
2.5.5	STRÖMUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSMETHODEN	32
2.5.5.1	Quantitative Methoden	32
2.5.5.2	Qualitative Methoden der Strömungssichtbarmachung.....	33
2.6	KLIMAREIFEKAMMERN.....	35
2.6.1	AUFBAU	35
2.6.2	KLIMATISIERUNG.....	36
2.6.3	LUFTFÜHRUNGSPRINZIPIEN	37
2.6.4	STEUERUNG	39
2.6.5	ENERGIEVERBRAUCH	40
3	MATERIAL UND METHODEN.....	42
3.1	GERÄTE UND MATERIALIEN	42
3.2	MESSMETHODEN	43
3.2.1	STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT	43
3.2.1.1	Strömungsgeschwindigkeit in den Wurstbündeln	45
3.2.1.2	Strömungsgeschwindigkeit an den Düsen	45
3.2.1.3	Strömungsgeschwindigkeit an den Absaugöffnungen.....	46
3.2.2	RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT	47
3.2.3	TEMPERATUR	48
3.2.3.1	Raumtemperatur	48
3.2.3.2	Oberflächentemperatur	48
3.2.4	VOLUMENSTROM IN DEN KANÄLEN.....	49
3.2.4.1	Volumenstrombestimmung mittels Viertelkreisdüse	49
3.2.4.2	Volumenstrombestimmung mittels Einlaufdüse.....	50

3.2.5	STATISCHER DRUCK.....	50
3.2.6	ELEKTRISCHE ENERGIE	51
3.3	SICHTBARMACHUNG DER STRÖMUNG.....	52
3.3.1	STRÖMUNGSSICHTBARMACHUNG MITTELS „LASERSHEET-VERFAHREN“	52
3.3.2	DIGITALE BILDVERARBEITUNG.....	53
3.4	KAMMERN.....	54
3.4.1	INDUSTRIEANLAGEN	54
3.4.1.1	Kammertyp 1.....	54
3.4.1.2	Kammertyp 2.....	55
3.4.1.3	Kammertyp 3.....	57
3.4.1.4	Kammertyp 4.....	58
3.4.2	STRÖMUNGS-SIMULATIONSKAMMER	59
3.4.2.1	Variante 1	59
3.4.2.2	Variante 2	59
3.4.2.3	Aufbau.....	60
3.4.2.4	Rauchwagen	64
3.4.2.5	Rohrurstplatzhalter.....	64
3.5	KANALMODELLE.....	65
3.5.1	EINSTRÖMKANAL.....	65
3.5.2	ABSAUGKANAL.....	67
3.5.3	MODELLKANAL ZUR ANALYSE VERSCHIEDENER AUSLASSFORMEN.....	68
4	ERGEBNISSE	69
4.1	AUSLEGUNG DER ZULUFTKANÄLE.....	69
4.2	AUSLEGUNG DER ABSAUGKANÄLE.....	77
4.3	AUSLEGUNG VON AUSTRITTSÖFFNUNGEN.....	83
4.4	ÖRTLICHE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN UND VERTEILUNG DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT IN VERSCHIEDENEN KAMMERTYPEN.....	88
4.4.1	KAMMERTYP 1	89
4.4.1.1	Einfluss der Einströmung	89
4.4.1.2	Einfluss der „Wechselklappe“	90
4.4.1.3	Einfluss des Kalibers	91
4.4.1.4	Einfluss der eingeströmten Luftmenge.....	92
4.4.1.5	Einfluss auf die Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit	95
4.4.2	KAMMERTYP 2	99
4.4.2.1	Einfluss der Einströmung	99
4.4.2.2	Einfluss der Strömungsrichtung	99
4.4.2.3	Position der Wagen	103
4.4.2.4	Einfluss auf die Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit	106
4.4.3	KAMMERTYP 3.....	107
4.4.3.1	Einfluss der Einströmung	107
4.4.3.2	Einfluss der Kammergeometrie	108
4.4.3.3	Einfluss der Geschwindigkeitsverteilung auf Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit	109
4.4.4	KAMMERTYP 4	112
4.4.4.1	Einfluss der Einströmung	112
4.4.4.2	Anordnung der Wagenräder	112
4.4.4.3	Einfluss auf die Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit	114
4.4.5	SIMULATIONSKAMMER	116
4.4.5.1	Einfluss der Absaugung auf die örtlichen Strömungsgeschwindigkeiten.....	116
4.4.5.2	Bypassströmungen.....	119
4.4.5.3	Neue Wege der Strömungsführung	121
4.5	ENERGETISCHE BETRACHTUNGEN.....	124
4.5.1	ENERGIEBEDARF BEI KAMMERTYP 1	124
4.5.2	ENERGIEBEDARF BEI KAMMERTYP 2.....	124

5	DISKUSSION	126
5.1	ALLGEMEINES	126
5.2	METHODIK.....	127
5.2.1	METHODE ZUR ERMITTLUNG DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN.....	127
5.2.2	METHODE ZUR ERMITTLUNG DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT	128
5.2.3	SICHTBARMACHUNG VON STRÖMUNGEN	129
5.3	STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE IN KLIMA-REIFEANLAGEN.....	129
5.3.1	EINSTRÖMUNG	129
5.3.1.1	Einströmkannäle	129
5.3.1.2	Strömungsführung	131
5.3.2	ABSAUGUNG	133
5.3.2.1	Absaugkannäle	133
5.3.2.2	Anordnung der Absaugung.....	135
5.3.3	GEOMETRIEPARAMETER.....	136
5.3.3.1	Einfluss der Kammergeometrie	136
5.3.3.2	Position der Wagen	137
5.3.3.3	Ausrichtung der Wagen.....	137
5.3.3.4	Bypässe	137
5.4	VERTEILUNG DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT IN ABHÄNGIGKEIT DER STRÖMUNG.....	139
5.4.1	VERTEILUNG DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT IN VERSCHIEDENEN KAMMERTYPEN	140
5.4.2	VERTEILUNG DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT OHNE ERZWUNGENE KONVEKTION	141
5.5	NEUE KONZEPTE FÜR KLIMA-REIFEKAMMERN	142
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	144
7	LITERATUR.....	147