

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

Qualifizierung einer physikalischen Methode zur Bestimmung der Trocknungsleistung beim
maschinellen Geschirrspülen

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
zu Bonn

vorgelegt am
08.07.2009
von
Britta Rummler
aus
Haan (Rheinland)

(D 98)

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

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

Tag der mündlichen Prüfung: 02.10.2009

Schriftenreihe der Haushaltstechnik Bonn

Band 2/2009

Britta Rummler

**Qualifizierung einer physikalischen Methode
zur Bestimmung der Trocknungsleistung beim
maschinellen Geschirrspülen**

D 98 (Diss. Universität Bonn)

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Bonn, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8642-2

ISSN 1863-320X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird eine objektive, automatisierte Methode zur Bewertung der Trocknungsleistung beim maschinellen Geschirrspülen vorgestellt, die auf einer Analyse und Modellierung der einzelnen physikalischen Prozesse während des Trocknungsintervalls basiert. Mit Hilfe dieser neuen Methode, der "Basket Weighing Method" ("BWM"), können die verschiedenen Einflussfaktoren, wie die eingesetzten Klarspüler, Programmtemperaturen oder Geschirrmaterialien, und ihre Auswirkungen auf die Trocknung analysiert und zumindest teilweise in einem physikalischen Kontext interpretiert werden. Basis der Methode ist die Messung der Gewichtsveränderung der Geschirrbeladung inklusive des Korbs während der Trocknungsphase eines Spülprogramms. Unter Berücksichtigung der theoretischen physikalischen Trocknungsprozesse werden verschiedene parametrische Modelle zur Beschreibung der durch die einzelnen Prozesse induzierten Gewichtsveränderungen gebildet. Die parametrischen Modelle werden daraufhin mittels Anpassung an die in der gravimetrischen Messung ermittelte Gewichtsfunktion angenähert. Die dabei aus den Modellen resultierenden charakteristischen Parameter können dann zur detaillierten Beurteilung der Trocknungsleistung herangezogen werden. Mittels eines Vergleichs zur klassischen "Tropfenzählmethode" werden vergleichbare Parameter identifiziert und eine für die "BWM" gültige Bewertungsskala zur Trocknungsleistung vorgeschlagen. Durch die prozessbezogene Betrachtung können die einzelnen Einflussfaktoren auf die maschinelle Trocknung im Detail untersucht werden, auch wenn eine allumfassende Theorie der Trocknung noch in zukünftigen Arbeiten entwickelt werden muss. Zu den möglichen Einsatzgebieten die Methode zählt insbesondere die Produktoptimierung im Bereich der Maschinen- und Reinigungsmittelproduktion.

Abstract

In this thesis, an objective, automatic method for measuring the drying performance in household dishwashers is presented. The method, called "Basket Weighing Method" ("BWM"), is based on an analysis and modelling of the different physical processes during the dishwasher's drying phase. Using the new method, the different influences of the type of rinse aid, the programme temperatures or the materials the dishes are composed of can be analysed. Furthermore, corresponding effects on the drying process can, to some extent, be interpreted in a physical context. The basis of the "BWM" consists of measuring the change of weight, the weight function, for the dish load and the basket during the whole drying phase of a rinse cycle. Considering the theoretically involved physical drying process, different parametric models for describing the individual processes and the induced weight changes are derived. Using a suitable fitting process, an approximation of the parametric models to the measured weight function is obtained. Using the resulting characteristic fit parameters of those models, a detailed evaluation of the drying performance is possible. For comparison to the classical "method of counting drops", suitable fit parameters were identified and suggested as a novel evaluation scale for assessing the drying performance by using the "BWM". Using the process-oriented view adopted in this thesis, several different factors influencing the machine drying process can already be examined in detail. A unifying physical theory of the underlying drying process is identified as a subject for future studies. The possible fields of application for the newly proposed method are product optimization in both the areas of machine and cleaning agent production.

Er dachte einige Zeit nach. Dann sprach er weiter: ".. Man muss nur an den nächsten Schritt denken, an den nächsten Atemzug, an den nächsten Besenstrich. Und immer wieder nur an den nächsten." Wieder hielt er inne und überlegte, ehe er hinzufügte: "Dann macht es Freude; das ist wichtig, dann macht man seine Sache gut. Und so soll es sein."

Michael Ende "Momo", 1973

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Methoden zur Bestimmung der Trocknungsleistung	4
2.2	Klarspülerprodukte	7
2.3	Geschirrmaterialien/Substrate	8
2.4	Benetzbarkeit harter Oberflächen	11
2.5	Trocknung	14
3	Aufgabenstellung	23
4	Material und Methoden	24
4.1	Versuchsbedingungen	24
4.1.1	Messbedingungen	24
4.1.2	Materialien der Testzyklen	25
4.2	“Basket Weighing Method”	30
4.2.1	Versuchsaufbau und Messprinzip	30
4.2.2	Interpretation der Messdaten	32
4.2.3	Modellierung der Trocknungsphase	34
	4.2.3.1 Modellierung der Verdunstungs- und “Tropfen-Phase”	36
	4.2.3.2 Modellierung der Ablaufphase	42

4.2.4	Versuchsdurchführung	45
4.2.5	Verifikation zur Reproduzierbarkeit	46
4.3	“Tropfenzählmethode”	47
4.4	Methoden zur Ermittlung der Stoffeigenschaften der Fluide und Substrate	48
4.5	Statistische Auswertung	50
5	Ergebnisse	52
5.1	Analyse des “Tropfen-” und Verdunstungsprozesses	52
5.1.1	Wirkung unterschiedlicher Klarspüler	53
5.1.2	Vergleich mit der “Tropfenzählmethode”	55
5.1.3	Einfluß der Temperatur	57
5.1.4	Effekte unterschiedlicher Geschirrmaterialien	61
5.2	Analyse des Ablaufprozesses	65
5.3	Analyse der Prozesse nach der Klarspülerdosierung	69
5.3.1	Wirkung der Fluide	70
5.3.2	Einfluss der Substrate	74
5.4	Charakteristische Stoffeigenschaften der Fluide und Substrate	82
5.4.1	Oberflächenspannung	83
5.4.2	Viskosität	84
5.4.3	Benetzbarkeit (Kontaktwinkel)	85
6	Diskussion	90
6.1	Leistungsfähigkeit der “BWM”	90
6.2	Auswirkung unterschiedlicher Randbedingungen	92
6.3	Einordnung und Grenzen der “BWM”	103

6.4	Qualitativer Vergleich des Ablaufverhaltens im Scherungsmodell mit den Messdaten	107
6.5	Ausblick	110
7	Zusammenfassung	112
A	Tabellen	115
B	Abbildungen	133