

Schriftenreihe der
Haushaltstechnik Bonn
Herausgeber: Prof. Dr. R. Stamminger

Pola Heidrich

**Atline-Tracking von
Spülprozessen mittels
Nahinfrarot Spektroskopie**

Institut für Landtechnik

**Atline-Tracking von Spülprozessen mittels Nahinfrarot
Spektroskopie**

Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

der Landwirtschaftlichen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

von

Pola Heidrich

aus

Bergisch Gladbach

Bonn 2020

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

Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Matthias Wüst

Tag der mündlichen Prüfung: 13.02.2020

Angefertigt mit Genehmigung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn

Schriftenreihe der Haushaltstechnik Bonn

Band 1/2020

Pola Heidrich

**Atline-Tracking von Spülprozessen
mittels Nahinfrarot Spektroskopie**

D 98 (Diss. Universität Bonn)

Shaker Verlag
Düren 2020

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., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7263-1

ISSN 1863-320X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

„Per aspera ad astra“
Seneca

- Danke, dass Ihr da seid und da wart -

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Anwendbarkeit der Nahinfrarotspektroskopie für den Einsatz einer differenzierten Detektion von Abtragungsprozessen verschiedener Lebensmittel während eines Spülprozesses zu überprüfen. Im Vergleich zu anderen Methoden besteht der Hauptvorteil der Nahinfrarotspektroskopie darin, dass Lebensmittel bzw. Lebensmittelhauptkomponenten (Kohlenhydrate, Fette und Proteine) in sehr geringen Konzentrationen (bis zu 0,05 g/100 g Spülflüssigkeit) differenziert nachgewiesen und bestimmt werden können. Zudem ermöglicht die Nahinfrarotspektroskopie Online-Messungen, wodurch bei einer Implementierung eines Nahinfrarotsensors in die Geschirrspülmaschine das Ablöseverhalten der Lebensmittel von den Geschirrtteilen in Echtzeit detektiert werden könnte. Während des automatisierten Geschirrspülens werden große Mengen an Energie, Wasser und Chemikalien umgesetzt. Eine Einsparung dieser Ressourcen könnte durch die Anpassung des Spülprozesses an die tatsächlich vorhandenen Lebensmittel und deren Abtragungsverhalten ermöglicht werden.

Für die hier vorliegende Arbeit werden für den Nachweis der Lebensmittelkomponenten Butterschmalz, Hafermehl und Eigelbpulver, welche in einer dem Spülprozess entnommenen Spülflüssigkeit emulgiert vorliegen, drei separate Nahinfrarotspektroskopie-Kalibrationsmodelle erstellt. Der vermessene Konzentrationsbereich liegt für Butterschmalz und Eigelbpulver bei 0 - 0,37 g und für Hafermehl bei 0 - 0,11 g in 100 g Spülflüssigkeit. Die Kalibrationsmodelle werden mit Hilfe der Partial Least Square Regressionsanalyse und einer internen Kreuzvalidierung für jede Schmutzkomponente basierend auf den Datensätzen der vermessenen Spektren von 75 Proben entwickelt. Der Bestimmungskoeffizient bei der internen Kreuzvalidierung (R^2 -Wert) beträgt 0,98 für Eigelbpulver, 0,92 für Butterschmalz und Hafermehl. Die Ergebnisse zeigen, dass es mittels Nahinfrarotspektroskopie möglich ist, sehr geringe Konzentrationen an Lebensmitteln in der Spülflotte differenziert zu detektieren.

Im weiteren Verlauf dieser Untersuchung werden die entwickelten Kalibrationsmodelle auf ihre Anwendbarkeit im Spülprozess mit angeschmutzten Geschirrtteilen, bei der Variation von Spülparametern sowie Versuchen nach IEC 60436 4. Edition, überprüft. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Übertragbarkeit der Kalibrationsmodelle auf Versuche mit angeschmutzten Geschirrtteilen zur Detektion des Abtragungsverhaltens während des Spülprozesses möglich ist. Die Parameterversuche zeigen eine deutliche Abhängigkeit der vorhergesagten Konzentrationen der einzelnen Lebensmittelkomponenten von der verwendeten Menge an Reiniger. Eine direkte Übertragbarkeit der entwickelten Modelle auf Versuche nach IEC 60436 4. Edition scheint zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich zu sein.

Abstract

The aim of this study is to develop a new method to detect and determine concentrations of different foods in dishwashing liquor during automatic dishwashing, by using near infrared spectroscopy. The main advantage of near infrared spectroscopy is that foods or major food components like carbohydrates, fats and proteins can be differentiated and determined in concentration ranges up to 0.05 g/100 g dishwashing liquor. In addition, near infrared spectroscopy enables online measurements. By the implementation of a near infrared sensor in a dishwasher, the detachment behavior of the food from soiled dishes could be detected in real-time. An automatic dishwashing process needs large amounts of energy, water and chemicals. A saving of these resources could be able by adapting the cleaning process to real food concentrations and their removal behavior during the dishwashing process.

For the study presented here, three separate calibration models for butterfat, oatmeal and egg yolk powder, which are emulsified in dishwashing liquor, were developed. The measured concentration range for butterfat and egg yolk powder is 0 - 0.37 g and for oatmeal 0 - 0.11 g in 100 g dishwashing liquor. The calibration models were developed by using partial least squares regression analysis and an internal cross-validation for each food component based on the data sets of the measured spectra of 75 samples. The coefficient of determination for internal cross-validation (R^2 value) is 0.98 for egg yolk powder, 0.92 for butterfat and oatmeal. The results show that it is possible to detect very low food concentrations in the dishwashing liquor by using near infrared spectroscopy.

In the further course of this investigation, the developed calibration models are checked for their applicability in the cleaning process with soiled dishes, in the variation of cleaning parameters and in investigations according to IEC 60436 4th Edition. In summary the transferability of the developed calibration models to investigate the detachment behavior of food from soiled dishes during the dishwashing process is possible. The variation of dishwashing parameters shows a clear dependence on the predicted concentrations of the individual foods based on to the amount of detergent used. A direct transferability of the developed models for investigations according to IEC 60436 4th edition does not seem to be possible yet.

INHALTSVERZEICHNIS

1. THEORETISCHER HINTERGRUND	1
1.1 NAHINFRAROTSPEKTROSKOPIE.....	1
1.1.1 Grundlagen.....	3
1.1.2 Messprinzip.....	6
1.1.3 Messtechniken.....	9
1.2 NIR-METHODENENTWICKLUNG.....	12
1.2.1 Datenvorbehandlung.....	14
1.2.2 Kalibration.....	16
1.2.3 Methoden Validierung.....	18
1.3 GESCHIRRSPÜLEN.....	21
1.4 EINSATZ VON NIR-TECHNIK WÄHREND DES GESCHIRRSPÜLPROZESSES.....	23
2. ZIEL DER ARBEIT	25
3. MATERIAL UND METHODEN	26
3.1 MATERIAL.....	26
3.2 METHODE.....	29
3.2.1 Entwicklung der NIR-Kalibrationsmodelle.....	30
3.2.1.1 Versuchsvorbereitungen.....	31
3.2.1.2 Probenvorbereitung für die Kalibrationsmodelle.....	32
3.2.1.3 Probenahme & Probenmessung zur Entwicklung der Kalibrationsmodelle.....	34
3.2.1.4 Multivariate Datenanalyse.....	34
3.2.2 Anwendung der entwickelten Kalibrationsmodelle im Spülprozess.....	35
3.2.2.1 Probenvorbereitung - Anschmutzung von Geschirrtteilen.....	36
3.2.2.2 Probenahme und Probenmessung während des Spülprozesses für Anwendbarkeitstest.....	37
3.2.2.3 Auswertung des Anwendbarkeitstest.....	38
3.2.3 Parametertest.....	39
3.2.4 Anwendung der entwickelten Kalibrationsmodelle auf IEC 60436 4. Edition.....	40
3.2.4.1 Probenvorbereitung für Anwendungstest zur IEC 60436 4. Edition.....	41
4. ERGEBNISSE	43
4.1 KALIBRATIONSMODELLE.....	44
4.2 ANWENDUNG IM SPÜLPROZESS – GRAVIMETRISCHE BESTIMMUNG.....	54
4.3 PARAMETERTEST.....	58
4.3.1 Vergleich von Wechselkorb- und Mehrkorbberieb.....	59
4.3.2 Vergleich von Spülprozessen mit verschiedenen maximal Temperaturen.....	61
4.3.3 Vergleich von verschiedenen Reiniger D Konzentrationen.....	64
4.4 ANWENDUNG AUF IEC 60436 4. EDITION.....	67
4.5 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	70

5. DISKUSSION	72
5.1 KALIBRATIONSMODELLE	72
5.2 ANWENDUNG IM SPÜLPROZESS – GRAVIMETRISCHE BESTIMMUNG	79
5.3 PARAMETERTEST	82
5.3.1 Vergleich von Wechselkorb- und Mehrkorbberieb	82
5.3.2 Vergleich von Spülprozessen mit verschiedenen maximal Temperaturen	83
5.3.3 Vergleich von verschiedenen Reiniger D Konzentrationen	84
5.4 ANWENDUNG AUF IEC 60436 4. EDITION	86
6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	92
LITERATURVERZEICHNIS	97
ANHANG	I
A TABELLEN	I
B ABBILDUNGEN	VIII