

Schriftenreihe der

Haushaltstechnik Bonn

Herausgeber: Prof. Dr. R. Stamminger

Sarah Schulze Struchtrup

**A concept for the rapid prediction
of microbiological reduction in
automatic dish cleaning
processes: the Microbiological
Inactivation Equivalent (MIE) unit**

**A concept for the rapid prediction of microbiological reduction in
automatic dish cleaning processes:
the Microbiological Inactivation Equivalent (MIE) unit**

Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

der Landwirtschaftlichen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

von

Sarah Schulze Struchtrup

aus

Velbert

Bonn 2020

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

Korreferent: *Prof. Dr. André Lipski*

Tag der mündlichen Prüfung: 27.01.2021

Angefertigt mit Genehmigung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn

Schriftenreihe der Haushaltstechnik Bonn

Band 1/2021

Sarah Schulze Struchtrup

**A concept for the rapid prediction of microbiological
reduction in automatic dish cleaning processes: the
Microbiological Inactivation Equivalent (MIE) unit**

D 98 (Diss. Universität Bonn)

Shaker Verlag
Düren 2021

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., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

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 978-3-8440-7875-6

ISSN 1863-320X

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

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Abstract

The dishwasher provides an excellent means to clean contaminated food-contact items and contributes thereby essentially to kitchen hygiene. Today there is no evidence of insufficient hygiene in automatic dishwashing. However, sustainability-driven future developments like decreasing cleaning temperatures, reduced water consumption and changes in chemistry might increase the risk of an inadequate reduction of microorganisms in dish cleaning processes.

National standards assessing the microbial reduction are available for commercial dishwashers, but, it has not been considered adequately for household dishwashers to date. Nonetheless, microbiological tests with inoculated test items used to determine the microbial reduction caused by a dishwashing process are labour-intensive and time-consuming. Consequently, there is a need to accelerate and simplify the assessment of microbial reduction in dish cleaning processes.

Thus, the aim of this study was to assess the microbial reduction of a dish cleaning process only by using physical parameters of a given process (time and temperature) together with microorganism-specific inactivation parameters. The 'Microbiological Inactivation Equivalent (MIE) unit' representing the time–temperature integral of a dish cleaning process for a specific microorganism was developed. Microbial reduction in suspension and dishwasher tests was tested in parallel. The microorganism-specific inactivation parameters were adjusted by fitting the MIE units to the experimental reduction factors gained.

Since a wide range of microorganisms is present in a dishwashing cycle, strains representing the worst case were sought to generalize over the plurality of microorganisms. As representative test strains *M. luteus* and *Ent. faecium* were identified. *M. luteus* (biosafety level 1) showed similar behaviour to the well-established *Ent. faecium* (bio safety level 2) in commercial dishwashing.

The mean squared error between reduction factors and MIE units calculated in suspension tests was on average < 1 (*Ent. faecium*: 0.87, *M. luteus*: 0.79) and in dishwasher tests about 1 (*Ent. faecium*: 1.09, *M. luteus*: 1.03). The best accuracy factor (1.14) and bias factor (0.99) has been achieved for *M. luteus* in the presence of detergent.

Verification tests allow for an application of the MIE concept to other – but still similar – dish cleaning processes when meeting the requirements of the theory of similarity.

In conclusion, the MIE concept can be used as a simple and rapid method to predict the microbial reduction of a specific dish cleaning process under well-defined conditions. MIE inactivation parameters identified for *M. luteus* (without detergent: $T_0 = 21.52$ °C, $z' = 7.64$ °C, with detergent: $T_0 = 5.75$ °C, $z' = 8.87$ °C) should be used when applying the MIE concept for dishwasher tests since it shows comparable results to *Ent. faecium* and its permitted use in laboratories with biosafety level 1.

Zusammenfassung

Die Geschirrspülmaschine ist ein hervorragendes Mittel zur Reinigung kontaminierter Gegenstände mit Lebensmittelkontakt und trägt damit wesentlich zur Küchenhygiene bei. Aktuell gibt es keine Hinweise auf eine unzureichende Hygiene beim maschinellen Geschirrspülen. Zukünftige, nachhaltigkeitsorientierte Entwicklungen wie sinkende Reinigungstemperaturen, reduzierter Wasserverbrauch und Veränderungen in der (Reiniger-) Chemie könnten jedoch das Risiko einer unzureichenden Reduktion von Mikroorganismen bei Geschirrspülprozessen erhöhen.

Für gewerbliche Geschirrspülmaschinen existieren nationale Normen zur Beurteilung der Keimreduktion, für Haushaltsgeschirrspülmaschinen ist dies hingegen bislang nicht ausreichend berücksichtigt worden. Nichtsdestotrotz sind mikrobiologische Tests mit beimpften Prüfkörpern zur Bestimmung der durch einen Geschirrspülprozess verursachten Keimreduktion arbeitsintensiv und zeitaufwendig. Daher besteht die Notwendigkeit, die Bewertung der mikrobiellen Reduktion bei Geschirrspülprozessen zu beschleunigen und zu vereinfachen.

Das Ziel dieser Studie war es daher, die mikrobielle Reduktion eines Geschirrspülprozesses zu bewerten, indem ausschließlich die physikalischen Parameter eines bestimmten Prozesses (Zeit und Temperatur) zusammen mit mikroorganismen-spezifischen Inaktivierungsparametern verwendet wurden. Dazu wurde die Größe „Mikrobiologisches Inaktivierungsäquivalent (MIE)“, die das mikroorganismen-spezifische Zeit-Temperatur-Integral eines Geschirrspülprozesses darstellt, entwickelt. Parallel dazu wurden mikrobiologische Suspensions- und Geschirrspülversuche durchgeführt. Die mikroorganismen-spezifischen Inaktivierungsparameter wurden durch Anpassung der MIE-Größen an die experimentell ermittelten Reduktionsfaktoren eingestellt.

Da in einem Geschirrspülprozess ein breites Spektrum von Mikroorganismen vorhanden ist, wurde nach Stämmen gesucht, die den ‚worst case‘ darstellen, um über die Vielzahl der Mikroorganismen zu generalisieren. Als repräsentative Teststämme wurden *M. luteus* und *Ent. faecium* identifiziert. *M. luteus* (Biologische Sicherheitsstufe 1) zeigte ein ähnliches Verhalten wie der beim kommerziellen Geschirrspülen etablierte *Ent. faecium* (Biologische Sicherheitsstufe 2).

Der mittlere quadratische Fehler zwischen Reduktionsfaktoren und MIE-Einheiten, die in Suspensionsversuchen berechnet wurde, betrug im Mittel < 1 (*Ent. faecium*: 0,87, *M. luteus*: 0,79) und in Geschirrspülversuchen etwa 1 (*Ent. faecium*: 1,09, *M. luteus*: 1,03). Der beste Genauigkeitsfaktor (1,14) und Verzerrungsfaktor (0,99) wurde für *M. luteus* in Anwesenheit von Geschirreinigungsmitteln erreicht.

Verifizierungstests erlauben eine Anwendung des MIE-Konzepts auf andere – jedoch noch ähnliche – Geschirrspülprozesse, wenn die Anforderungen der Ähnlichkeitstheorie erfüllt werden.

Zusammenfassend kann das MIE-Konzept als eine einfache und schnelle Methode zur Vorhersage der mikrobiellen Reduktion eines bestimmten Geschirrspülprozesses unter genau definierten Bedingungen verwendet werden. Die für *M. luteus* identifizierten MIE-Inaktivierungsparameter (ohne Reinigungsmittel: $T_0 = 21,52$ °C, $z' = 7,64$ °C, mit Reinigungsmittel: $T_0 = 5,75$ °C, $z' = 8,87$ °C) sollten bei der Anwendung des MIE-Konzepts für Spülmaschinentests verwendet werden, da es vergleichbare Ergebnisse zeigt wie *Ent. faecium* und seine Verwendung in Laboratorien mit Biologischer Sicherheitsstufe 1 erlaubt ist.

Table of contents

1	Introduction	1
2	Background	3
2.1	Principles of mathematic modelling	3
2.1.1	Theory of similarity	4
2.2	Microbial contamination in dishwashing	5
2.2.1	Factors influencing the microbial reduction in dishwashers	7
2.3	Mathematic characterization of microbial reduction	10
2.4	Standards on microbial reduction in dishwashing processes	14
2.4.1	Commercial dishwashers	14
2.4.1.1	DIN SPEC 10534-2019-02	15
2.4.1.2	NSF/ANSI 3-2019	15
2.4.2	Residential dishwashers	16
2.4.2.1	NSF/ANSI 184-2019	16
2.4.2.2	QB/T 1520-2013	17
2.5	Conclusions	18
3	Objectives	19
4	Materials and Methods	20
4.1	Postulated model	20
4.1.1	Systematic behaviour	23
4.1.2	Limits	26
4.2	Suspension tests	27
4.3	Dishwasher tests	30
4.3.1	General experimental procedure of dishwasher tests	30
4.3.2	Influence of the final rinsing cycle on microbial reduction	31
4.3.3	Influence of main cleaning temperature, main cleaning duration and detergent amount on microbial reduction	36
4.3.4	Influence of different models of dishwashers on microbial reduction (verification tests)	36
4.4	Statistical analysis	38

4.5	Model evaluation.....	39
5	Results.....	42
5.1	Suspension tests	42
5.1.1	Identification of suitable test strains (Part 1).....	42
5.1.2	Main tests (Part 2).....	42
5.1.3	Model evaluation.....	45
5.2	Dishwasher tests	48
5.2.1	Influence of the final rinsing cycle on microbial reduction	48
5.2.2	Influence of main cleaning temperature, main cleaning duration and detergent amount on microbial reduction (main tests).....	53
5.2.3	Influence of different models of dishwashers on microbial reduction (verification tests).....	56
5.2.4	Model evaluation.....	59
5.2.4.1	Dishwasher tests.....	59
5.2.4.2	Verification tests.....	60
6	Discussion.....	61
6.1	Suspension tests	61
6.1.1	Identification of suitable test strains (Part 1).....	61
6.1.2	Main tests (Part 2).....	62
6.2	Dishwasher tests	64
6.2.1	Influence of the final rinsing cycle on microbial reduction	64
6.2.2	Influence of main cleaning temperature, main cleaning duration and detergent amount on microbial reduction (main tests).....	65
6.2.3	Influence of different models of dishwashers on microbial reduction (verification tests).....	66
6.3	Microbiological test method.....	68
6.4	Mathematical approach.....	69
6.5	Limits of the MIE concept.....	70
7	Conclusion	72
8	References.....	74
	Appendix A.....	IV

A.1 List of Abbreviations.....	IV
A.2 List of Tables	VI
A.3 List of Figures	VIII
A.4 List of Equations	X
Appendix B.....	XI
B.1 Media.....	XI
B.2 Further materials and chemicals	XII
B.3 Equipment	XIII
Appendix C	XV
C.1 Results of suspension tests (Part 1).....	XV
C.2 Results of suspension tests (Part 2).....	XIX
C.3 Results of dishwasher tests	XXI
C.3.1 Influence of the final rinsing cycle on the microbial reduction	XXI
C.3.2 Influence of main cleaning temperature, main cleaning duration and detergent amount on microbial reduction (main tests).....	XXV
C.3.3 Influence of different models of dishwashers on microbial reduction (verification tests).....	XXVII