

Weiterentwicklung des IEC 60436-Referenzsystems zur Gewährleistung einer höheren Verbraucherrelevanz

Lotta Theresa Florianne Kinitz¹

Kurzfassung

Zur gleichzeitigen Gewährleistung einer robusten Testmethode und höheren Verbraucherrelevanz ist das Referenzsystem der IEC 60436 überholungsbedürftig. Da das europäische Energielabel und die dazugehörige Ökodesign-Richtlinie jedoch indirekt auf dem Messverfahren der IEC 60436 beruhen, kann dieses nicht beliebig verändert werden. Im vorliegenden Beitrag wird ein Vorschlag für die Angleichung der Messergebnisse eines zukünftigen an die des aktuellen Referenzsystems vorgestellt. Dazu werden zunächst resultierende Veränderungen untersucht, dann mit Modifizierungen der Reiniger-Zusammensetzung gearbeitet und schließlich eine mathematische Methode zur Angleichung der Messergebnisse entwickelt. Im Ergebnis zeigt sich die mathematische Methode für das weitere Vorgehen in der Normungsarbeit am vielversprechendsten.

Schlagworte: Geschirrspüler, Normung, Verbraucherverhalten, Reiniger, Programm

Further development of the IEC 60436 reference system to ensure more consumer relevance

Abstract

To ensure a robust test method and higher consumer relevance at the same time, the IEC 60436 reference system needs to be overhauled. However, as the European energy label and the associated Ecodesign Directive are indirectly based on the IEC 60436 measurement method, it cannot be changed arbitrarily. This paper presents a proposal for harmonising the measurement results of a future reference system with those of the current one. To this end, firstly the resulting changes are analysed, then modifications are made to the detergent composition and finally a mathematical method is developed to harmonise the measurement results. As a result, the mathematical method proves to be the most promising for further standardisation work.

Keywords: Dishwasher, standardization, consumer behaviour, detergent, programme

¹ Die zugehörige Dissertation der Autorin ist unter ihrem Geburtsnamen *Schencking* erschienen (siehe Hinweise zur Autorin auf der letzten Seite).

Weiterentwicklung des IEC-60436-Referenzsystems zur Gewährleistung einer höheren Verbraucherrelevanz

Lotta Theresa Florianne Kinitz

Einleitung

Die IEC 60436 ist als Norm zur Leistungsmessung ein wichtiger Leitfaden für Hersteller und Prüflabore bei der Prüfung von Geschirrspülern (IEC 60436:2015). Jede Norm ist ein Kompromiss zwischen einem möglichst robusten Prüfverfahren, das wiederholbare und reproduzierbare Ergebnisse erzielt, und der Nähe der Prüfbedingungen zum tatsächlichen, durchschnittlichen Verbraucherverhalten. Die verpflichtende Kombination der Reinigungs- und Trocknungsbewertung zur Verhinderung von Circumvention sowie die Einführung von vielfältigeren Beladungsteilen, um die Realität der Verbraucher besser abzubilden, waren bereits wichtige Schritte für die IEC 60436:2015. Dennoch ist insbesondere das Referenzsystem – bestehend aus dem Geschirrspüler-Modell der Firma Miele & Cie. KG "G 1222 SC Reference" und dem Reiniger "Typ D" – überholungsbedürftig. Heutige Geschirrspüler verbrauchen im ECO-Programm deutlich weniger Wasser und Energie als das Referenzprogramm nach IEC 60436:2015, haben aber deutlich längere Programmlaufzeiten. Auf dem Markt erhältliche Reiniger sind zudem weniger alkalisch und enthalten deutlich mehr aktive Enzyme als der IEC 60436:2015 Referenzreiniger (IEC 60436:2015, Aehle 2007).

Das europäische Energielabel und die Ökodesign-Richtlinie basieren jedoch auf dem Messverfahren der EN 60436, das wiederum auf der IEC 60436 beruht. Deshalb kann es nicht beliebig abgeändert werden, sodass ein Weg gefunden werden muss, um die Messergebnisse des zukünftigen Referenzsystems an die des aktuellen anzugleichen.

Die Aufgabe dieses Beitrags besteht darin, einen Ansatz vorzuschlagen, wie dieser Veränderungsprozess zu bewältigen ist. Ein experimentelles, neues Referenzsystem – bestehend aus einer marktüblichen Maschine der Firma Miele & Cie. KG, "G 7100 SC", und einem aktualisierten Reiniger, genannt "Typ E" – wird untersucht, um die zu erwartenden Veränderungen der Reinigungsleistung zu ermitteln.

Es wird erwartet, dass durch die aktiveren Enzyme des Reinigers Typ E die Reinigungsleistung im Vergleich zum Typ D verbessert wird. Andererseits wird erwartet, dass die reduzierte Alkalität die Leistung verringert. Insgesamt wird aber eine Verbesserung der Reinigungsleistung erwartet.

Es werden zwei Ansätze verfolgt, um die erwarteten Verbesserungen der Reinigungsleistung des experimentellen, neuen Referenzsystems zu kompensieren. Erstens werden Änderungen am Reiniger Typ E vorgenommen: Es wird geprüft, ob eine geringere Gesamtmenge an Reiniger und/oder ein geringerer Enzymgehalt die Reinigungsergebnisse des experimentellen, neuen Referenzsystems und des derzeitigen Systems angleichen können. Zweitens wird ein mathematischer Ansatz entwickelt: In die Formel des Reinigungsindex nach IEC 60436 wird ein Anpassungsfaktor eingeführt, der die Reinigungsergebnisse des experimentellen, neuen Referenzsystems künstlich reduziert. Auf diese Weise sollen die mit dem experimentellen, neuen Referenzsystem ermittelten Ergebnisse für die Reinigungsindizes an die mit dem aktuellen Referenzsystem ermittelten angepasst werden.

Methodik

Reiniger-Zusammensetzung

Im Vergleich zur Zusammensetzung des Reinigers Typ D enthält der Reiniger Typ E nicht nur andere Enzyme, sondern auch deutlich mehr Natriumcarbonat. Letzteres wurde prozentual erhöht (von 35,5 % auf 50 %), um die Reduzierung von Natriumdisilikat (von 10 % auf 1,5 %) und Sokalan CP5-Granulat (von 12 % auf 6 %) zu kompensieren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der neu entwickelte Reiniger Typ E mehr aktive Enzyme enthält, die den aktuellen Markt besser widerspiegeln als der Reiniger Typ D. Außerdem ist er aufgrund der Verringerung des Disilikat-Anteils weniger alkalisch, was sein Gefährdungspotenzial für den Anwender verringert. Veranschaulicht sind diese Veränderungen in Abb. 1.

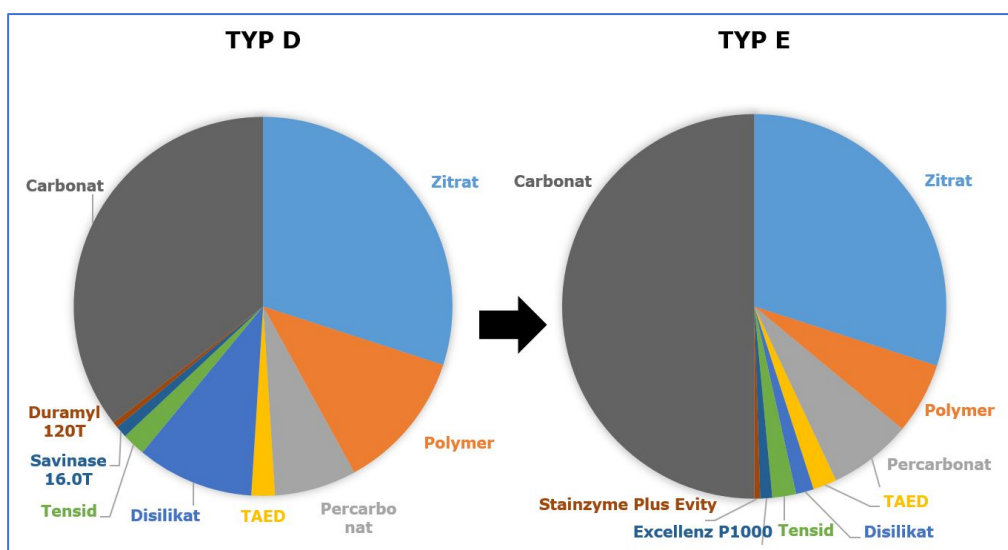


Abb. 1: Visualisierung der Veränderungen an der Norm-Reiniger-Formulierung (modifiziert nach IEC 60436:2015 vor Corrigendum 2015)

Vergleichstests

Zunächst werden die Reiniger vom Typ D und E in allen vier verfügbaren Geschirrspülern in der von der IEC 60436:2015 vorgesehenen Dosierung gegeneinander getestet. Somit werden jeweils acht Gramm Reiniger für die Grundlast und je ein zusätzliches Gramm pro Place Setting (PS), das in die Geschirrspülmaschine passt, hinzugefügt (IEC 60436:2015). Die verwendeten Versuchsmaschinen werden im Folgenden zur Wahrung der Vertraulichkeit mit den Codes L 018/002 und L 019/023 bezeichnet.

Im nächsten Schritt werden verschiedene Dosierungen des Reinigers Typ E – volle, halbe und geviertelte Menge – mit den vollen und halbierten Enzymgehalten in den beiden Referenzmaschinen getestet.

Schließlich wird das vollständige, derzeitige Referenzsystem (bestehend aus der Referenzmaschine "G 1222 SC Reference", dem Referenzprogramm "EN/IEC" und dem Referenzreiniger Typ D in der derzeitigen Standarddosierung $8 \text{ g} + 1 \cdot x \text{ g}$) mit dem experimentellen, neuen Referenzsystem (bestehend aus der experimentellen, neuen Referenzmaschine "G 7100 SC", dem experimentellen, neuen Referenzprogramm "ECO" und dem Reiniger Typ E in der experimentellen, neuen Dosierung $8 \text{ g} + 0,5 \cdot x \text{ g}$) verglichen.

Entwicklung eines Anpassungsfaktors

Im alternativen, mathematischen Ansatz muss in die Formel des Reinigungsindex ein Anpassungsfaktor eingefügt werden (Gl. 1).

$$P_c = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{C_{T,i}}{C_{R,i,curr}}\right)\right) \quad (1)$$

(nach IEC 60436:2015: 41)

Mit:

$P_{c,i}$ = Reinigungs-Index für einen Lauf der Testmaschine

$C_{T,i}$ = durchschnittlicher Reinigungs-Index für einen Lauf der Testmaschine

$C_{R,i,curr}$ = durchschnittlicher Reinigungs-Index für einen Lauf der derzeitigen Referenzmaschine

Um die Ergebnisse der Referenzmaschine so anzupassen, dass der Gesamt-Reinigungsindex des experimentellen, neuen Referenzsystems mit dem des aktuellen Referenzsystems vergleichbar wird, wird der Anpassungsfaktor f_a in die obige Gleichung der IEC-Norm wie folgt eingeführt (Gl. 2):

$$\ln(P_{c,curr}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\ln \left(\frac{C_{T,i}}{C_{R,i,exp}} \right) - \ln(f_a) \right) \quad (2)$$

Mit:

$P_{c,curr}$ = Reinigungsindex der Testmaschine im Vergleich zur derzeitigen Referenzmaschine

n = Anzahl der Testläufe

$C_{R,i,exp}$ = durchschnittlicher Reinigungs-Index für einen Lauf der experimentellen, neuen Referenzmaschine

f_a = Anpassungsfaktor

Ergebnisse

Das lineare Regressionsmodell in Abb. 2 zeigt, ob und wo statistisch signifikante Unterschiede zu finden sind. Im Allgemeinen gibt es signifikante Unterschiede in der Reinigungsleistung zwischen den verschiedenen Reinigern und auch zwischen den verschiedenen Maschinen. Die Interaktion der beiden Variablen ist mit $p > 0,05$ nicht signifikant. Die Gesamtanpassung des Regressionsmodells wird mit $R^2 = 0,7710$ ausgedrückt.

Der Reiniger Typ E erzielt bei drei der vier Maschinen signifikant höhere Werte als Typ D (Ausnahme: L 018/002). Darüber hinaus besteht ein signifikanter Unterschied in der Reinigungsleistung zwischen der aktuellen und der experimentellen, neuen Referenzmaschine. Die anderen Maschinen weisen ebenfalls signifikante Unterschiede in der Reinigungsleistung auf, die aber im Rahmen dieser Arbeit nicht von Interesse sind.

Die Ergebnisse dieser Regressionsanalyse sind gemäß Bootstrap² datenrobust.

² Das Bootstrap-Verfahren ist eine statistische Methode, um die berechneten Signifikanzergebnisse einer Regressionsanalyse auf Datenrobustheit zu testen. Eine Regressionsanalyse basiert auf der Annahme, dass die verwendeten Daten normalverteilt sind. Daher sind alle Berechnungen zu statistisch signifikanten Unterschieden zwischen Datengruppen nur dann gültig, wenn der ursprüngliche Datensatz normalverteilt ist. (Chatterjee & Hadi 2012) Dies ist jedoch nicht immer der Fall, was zum Teil aus deskriptiven Diagrammen ersichtlich ist. Eine Bootstrap-Analyse unterzieht die verfügbaren ursprünglichen Zufallsdaten, die aus Laborexperimenten stammen, einer erneuten Stichprobenziehung, um einen größeren Stichprobenumfang für die Analyse zu simulieren. Dadurch werden die berechneten statistischen Ergebnisse robuster, z. B. gegenüber Ausreißern und einer nicht normalen Verteilung.

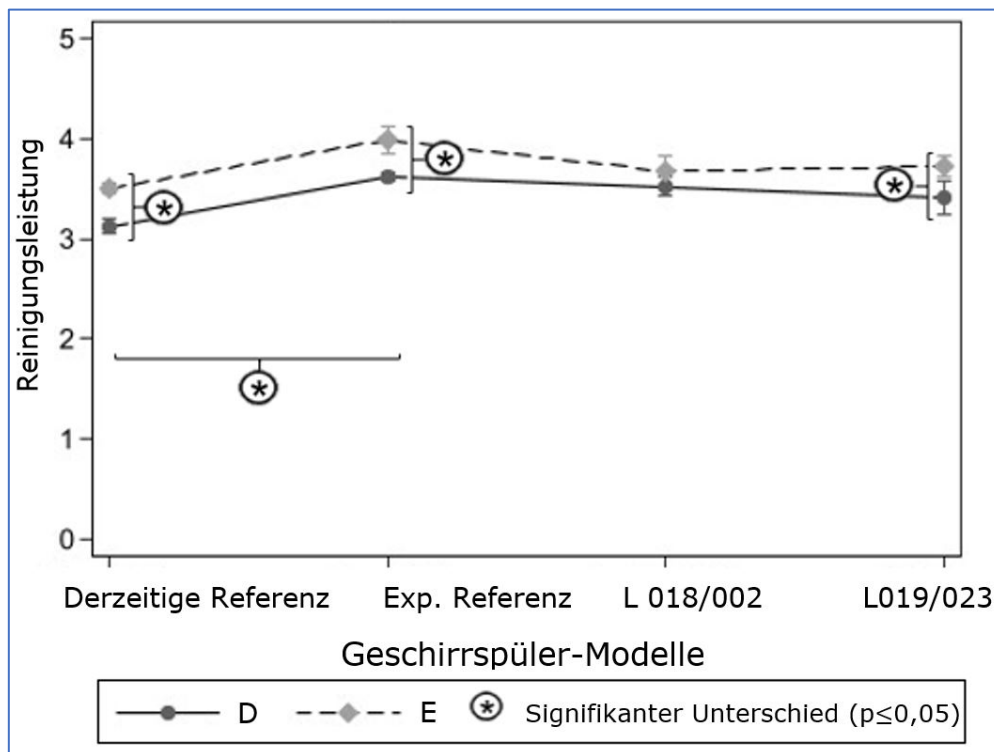


Abb. 2: Regressionsmodell der Gesamtreinigungsleistung (alle Maschinen und Reiniger)
 – Die Verbindungslinien dienen nur der Veranschaulichung –

Das Regressionsmodell gibt einen tieferen Einblick in die Daten und die Bedeutung der Unterschiede. Nach Entfernung der beeinflussenden Werte ergibt sich ein Regressionsmodell mit einer Anpassung von $R^2 = 0,8578$. Es ist in Abb. 3 dargestellt.

Es gibt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Reiniger-Dosierungen in den beiden getesteten Maschinen. Die Dosierung von 100 % erzielt signifikant höhere Werte als die Dosierung von 50 % und 25 %. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Reiniger-Dosierung von 50 % und 25 % in beiden Maschinen – zumindest für den Reiniger mit einem Enzymgehalt von relativen 100 %. Außerdem besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Enzymgehalten bei einer Dosierung von 100 % in der aktuellen Referenz.

Darüber hinaus besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Referenzmaschinen, wenn sie mit einer Reiniger-Dosierung von 100 % (mit beiden Enzymgehalten) betrieben werden.

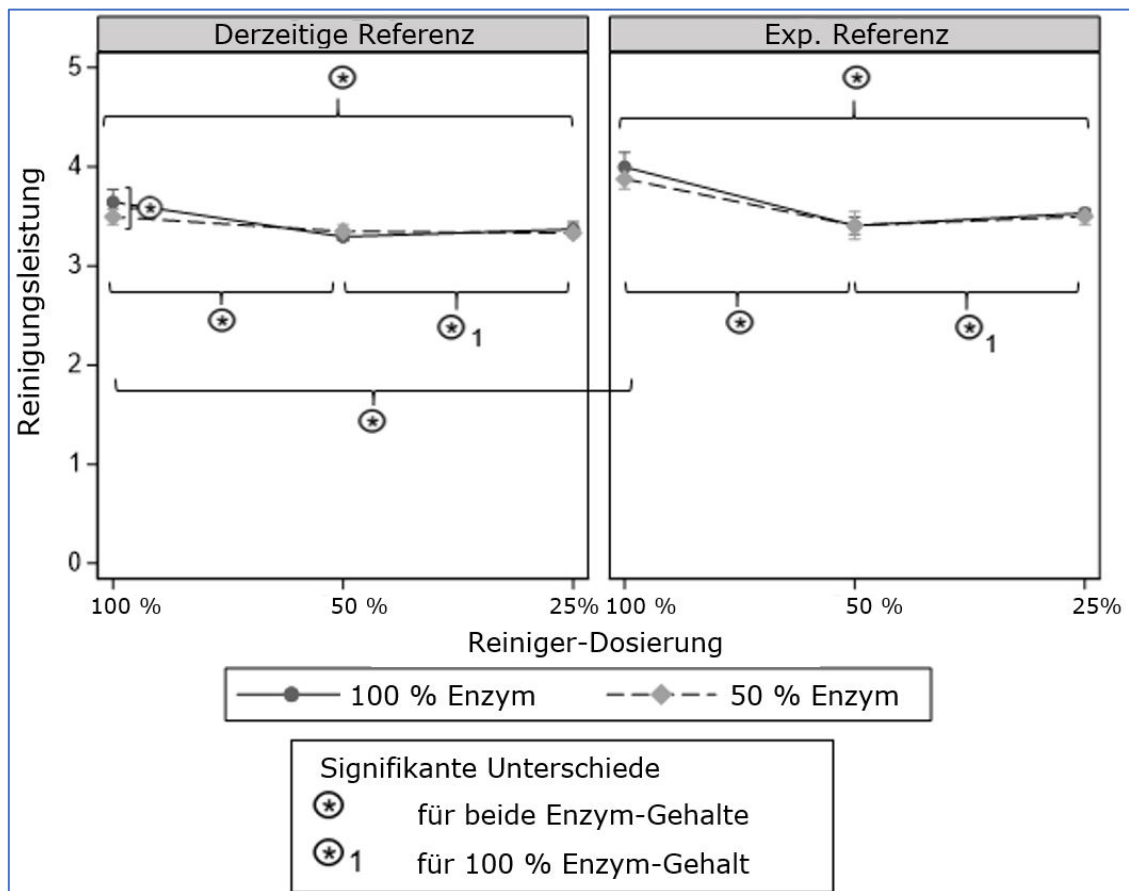


Abb. 3: Regressionsmodell der Gesamtreinigungsleistung, einflussreiche Werte ausgeschlossen (Referenzmaschinen mit unterschiedlichen Reiniger- und Enzymdosierungen) – Die Verbindungslinien dienen nur der Veranschaulichung –

Abb. 4 zeigt das Bland-Altman-Diagramm des Vergleichs der Testergebnisse des aktuellen und des experimentellen, neuen Referenzsystems. Die y-Achse zeigt die Differenzen zwischen den Testergebnissen (hier berechnet als Differenz=aktuell-experimentell, neu) und die x-Achse zeigt die Mittelwerte der Testergebnisse.

Die drei zu prüfenden Kriterien zeigen die folgenden Ergebnisse: Der Mittelwert der Differenzen (schwarze Linie) ist nicht kongruent mit der 0-x-Achse. Dies deutet auf den systematischen Fehler hin, dass das experimentelle, neue Referenzsystem generell höhere Ergebnisse erzielt, weil seine Ergebnisse von den Ergebnissen des aktuellen Systems abgezogen werden. Alle Datenpunkte liegen innerhalb der Grenzen von 1,96 multipliziert mit der Standardabweichung. Die Berechnung der Spearman-Korrelation (visualisiert durch die gestrichelte diagonale Linie) zeigt eine signifikante negative Korrelation innerhalb der Verteilung ($r_s = -0,5156$, $p = 0,0200$). Dies bedeutet, dass die Verteilung der Differenzen nicht unabhängig von der Größe der Messwerte ist. Je größer die Messwerte werden, desto mehr weichen die Ergebnisse der beiden Maschinen voneinander ab.

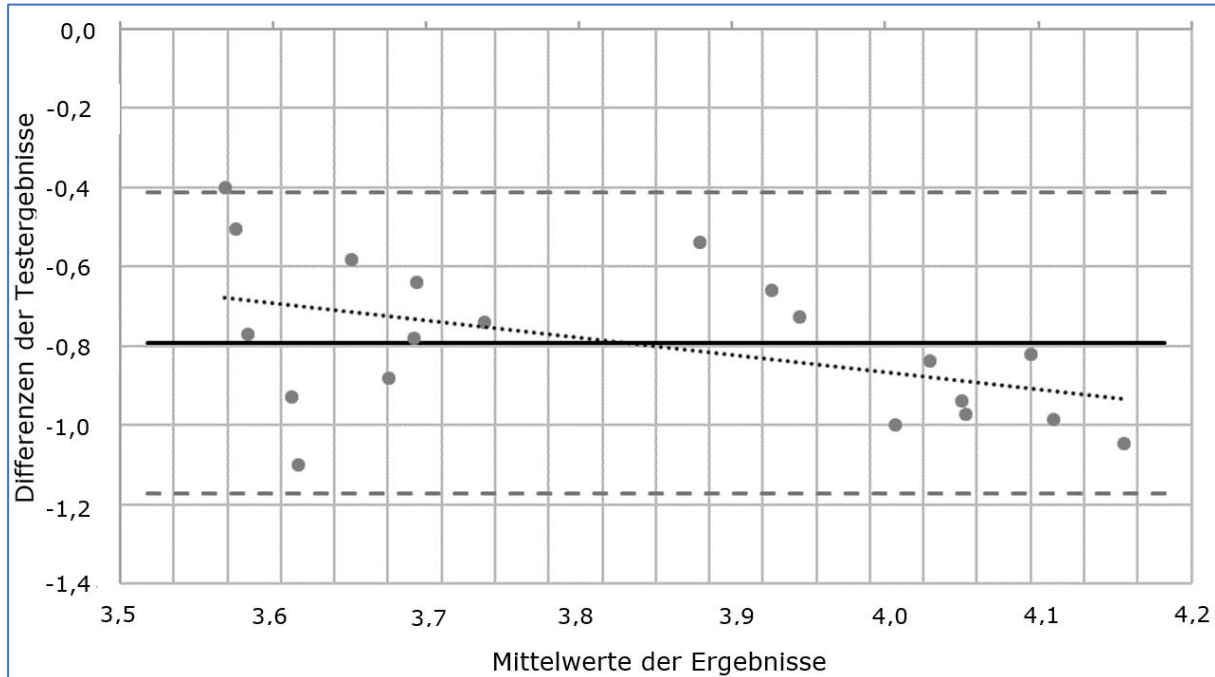


Abb. 4: Bland-Altman-Diagramm der aktuellen und experimentellen, neuen Referenzsysteme mit Angabe der Korrelation (gepunktete Linie)

Die vorangegangenen Analysen zeigen, dass das derzeitige und das experimentelle, neue Referenzsystem zwar prinzipiell vergleichbar sind, aber keine exakt gleichen Ergebnisse erzielen. Dies wird noch deutlicher, wenn nicht nur die Gesamtreinigungsleistung, sondern auch der Reinigungsindex verglichen wird. In Abb. 5 sind die Reinigungsindizes der beiden Testmaschinen im Vergleich zu den beiden Referenzsystemen (aktuelles und experimentelles, neues) dargestellt. Die Reinigungsindizes wurden nach den Vorgaben der IEC 60436:2015 berechnet. Es ist zu erkennen, dass der Vergleich der Testmaschinen mit dem experimentellen, neuen Referenzsystem niedrigere Reinigungsindizes erzielt (helle, gefüllte Balken) als der mit dem aktuellen Referenzsystem (heller, gestreifter Balken). Wie zuvor gesehen, erreicht das experimentelle, neue Referenzsystem höhere Werte bei der Reinigungsleistung. Diese Werte gehen in die Gleichung als Nenner ein. Der berechnete Reinigungsindex ist demzufolge niedriger.

Mit dem hier entwickelten Anpassungsfaktor (Gl. 2) können die Reinigungsindizes jedoch angepasst werden, indem die Referenzwerte des experimentellen, neuen Systems künstlich reduziert werden.

Tab. 1 zeigt die Versuchsergebnisse in Verbindung mit den Reinigungsindizes für das experimentelle, neue Referenzsystem. Mit Hilfe von Gl. 2 lassen sich die Anpassungsfaktoren berechnen, mit denen die gleichen Ergebnisse wie mit dem bisherigen Referenzsystem erzielt werden können (vgl. Gl. 3 und 4).

Tab. 1: Ergebnisse von fünf Tests aus einer Testreihe, bei denen die beiden Testmaschinen mit dem experimentellen, neuen Referenzsystem verglichen werden

Testreihe Parameter Test	L 018/002			L 019/023		
	$C_{T,i,1}$	$C_{R,i,exp,1}$	$P_{c,1}$	$C_{T,i,2}$	$C_{R,i,exp,2}$	$P_{c,2}$
1	0.6385	0.8026	1.118	0.6384	0.8167	1.056
2	0.6872	0.8231		0.6562	0.7885	
3	0.7500	0.7936		0.6945	0.8218	
4	0.7115	0.7654		0.6671	0.7538	
5	0.7667	0.8333		0.6877	0.8154	

Berechnung der Anpassungsfaktoren $f_{a,1}$ und $f_{a,2}$:

$$f_{a,1} = \exp\left(-\ln(P_{c,1}) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{C_{T,i,1}}{C_{R,i,exp,1}}\right)\right) \approx 0.7900 \quad (3)$$

$$f_{a,2} = \exp\left(-\ln(P_{c,2}) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{C_{T,i,2}}{C_{R,i,exp,2}}\right)\right) \approx 0.7927 \quad (4)$$

Die experimentellen, neuen Referenzergebnisse für die Berechnung des Reinigungsindex der Maschine L 018/002 müssen demnach um ca. 21 % reduziert werden, um das gleiche Ergebnis wie mit dem aktuellen Referenzsystem zu erzielen. Bei der Maschine L 019/023 muss die Reduktion ca. 20,7 % betragen. Eine Visualisierung der ursprünglichen und der angepassten Daten ist in Abb. 5 zu sehen.

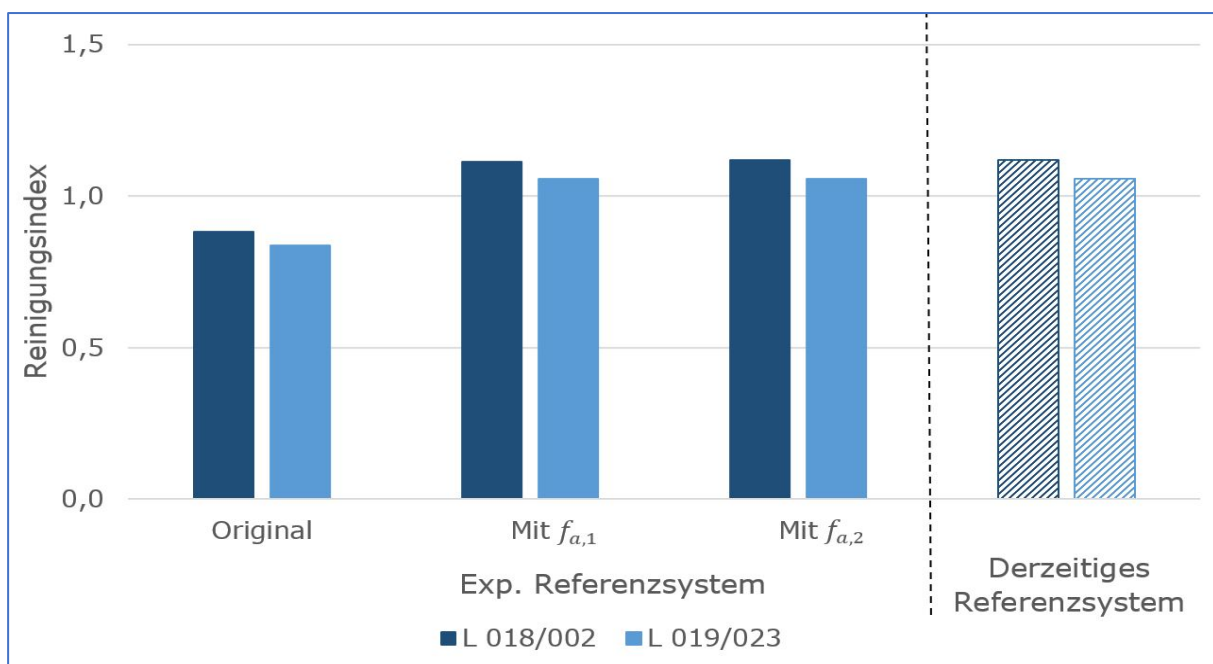


Abb. 5: Visualisierung der Anwendung von Anpassungsfaktoren

Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Beitrag wird gezeigt, inwieweit sich die Messergebnisse der Reinigungsleistung von Geschirrspülern ändern, wenn die IEC 60436:2015 im Interesse einer höheren Verbraucherrelevanz aktualisiert wird. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass der Reiniger Typ E in drei von vier getesteten Geschirrspülern eine signifikant höhere Reinigungsleistung über alle Beladungsgegenstände hinweg erzielt. Insbesondere ist die Reinigungsleistung bei den mit Haferflocken verschmutzten Beladungsteilen signifikant höher. Dies kann auch durch eine Modifikation des Reinigers Typ E in Bezug auf die Reiniger-Menge pro Spülgang und die Enzymkonzentration nicht angeglichen werden.

Für den weiteren Verlauf der Normierungsarbeiten wird daher empfohlen, dem mathematischen Ansatz zu folgen. Für die beiden verfügbaren Testmaschinen werden individuelle Anpassungsfaktoren berechnet, um die Ergebnisse der Referenzsysteme aneinander anzugleichen. Die Verwendung dieser ist jedoch für das Norm-Messverfahren nicht praktikabel, da dies mehr Arbeit und höhere Kosten für die Labore bedeuten würde. Daher ist die Verwendung des Mittelwertes der einzelnen Anpassungsfaktoren praktikabler. Die sich daraus ergebenden Abweichungen für das Ergebnis der Reinigungsindizes im Vergleich zur Berechnung mit individuellen Anpassungsfaktoren sind nur in der dritten Nachkommastelle spürbar. Dies entspricht einer prozentualen Abweichung von unter 0,2 %. Die Ergebnisse des letzten Geschirrspüler-Ringtests zeigen, dass diese Abweichung nicht messbar sein wird (Schencking & Stamminger 2021). Daher wird empfohlen, dieses Verfahren in eine künftige Überarbeitung der IEC-Norm zu integrieren.

Bevor jedoch ein neues Referenzsystem und ein entsprechender Anpassungsfaktor in die internationale Norm implementiert werden können, sollten endgültige Entscheidungen über die tatsächlich zu verwendende neue Reiniger-Zusammensetzung und Referenzmaschine getroffen werden. Unter diesen Voraussetzungen sollten die hier vorgestellten Versuche wiederholt werden, um die Ergebnisse an die tatsächlichen Veränderungen anzupassen. Es ist auch zu beachten, dass in dieser Arbeit der Reiniger Typ D gemäß der Zusammensetzung der IEC 60436:2015 vor Corrigendum verwendet wird. Für den endgültigen Vergleich eines neuen Referenz-Reinigers mit dem aktuellen sollten daher Tests mit der korrigierten Zusammensetzung durchgeführt werden. Das in dieser Arbeit gezeigte allgemeine Verfahren zur Implementierung eines neuen Referenzsystems in die IEC 60436:2015 kann jedoch für zukünftige Normierungsarbeiten empfohlen werden.

Literatur

Aehle W (2007): Enzymes in Industry: Production and Applications. 3. Ausgabe, Weinheim.
Chatterjee S, Hadi AS (2012): Regression Analysis by Example. 5. Auflage, Hoboken, New Jersey.

IEC 60436:2015: Electric dishwashers for household use – Methods for measuring the performance. 4. Auflage, Genf.

Schencking LTF, Stamminger R (2021): Report on the Dishwasher Round Robin Test 2019/2020. Bonn.

Autorin

Dr.-Ing. Lotta Theresa Florianne Kinitz, geb. Schencking, ist technische Redakteurin beim Testmagazin IMTEST sowie Lehrbeauftragte für Haushaltstechnik und Physik an der HAW Hamburg, Ulmenliet 20, 21033 Hamburg.

Kontakt: lotta.kinitz@haw-hamburg.de



© LTF Kinitz

Interessenkonflikt

Die Autorin erklärt, dass kein Interessenkonflikt besteht. Die vorliegende Arbeit war Teil eines von der Industrie geförderten Promotionsprojekts. Beteiligte des Projekts waren die Unternehmen Miele, BSH Hausgeräte, Arçelik, Electrolux, Henkel, Reckitt Benckiser, Dupont (mittlerweile International Flavors & Fragrances) und Novozymes.

Das Manuskript beruht auf der abgeschlossenen Doktorarbeit der Autorin mit dem Titel „Further development of the IEC 60436 reference system to ensure more consumer relevance“ (Erstgutachter: Prof. Dr. Rainer Stamminger). Die vollständige Dissertation kann in der Schriftenreihe der Uni Bonn im Shaker-Verlag erworben werden: ISBN 978-3-8440-8540-2, doi: [10.2370/9783844085402](https://doi.org/10.2370/9783844085402).

Die Dissertation hat den dgh-Nachwuchspreis der Deutschen Gesellschaft für Hauswirtschaft e. V. in der Kategorie „Ausgezeichnete Abschlussarbeiten des Jahres 2023“ erhalten, gefördert von der Helga-Brenn-Stiftung.

Zitation

Kinitz LTF (2024): Weiterentwicklung des IEC 60436-Referenzsystems zur Gewährleistung einer höheren Verbraucherrelevanz. Hauswirtschaft und Wissenschaft (72) 2024, ISBN 2626-0913. <https://haushalt-wissenschaft.de>
doi: 10.23782/HUW_20_2023