

Neutrale Prüfmedien in Zusammenhang mit DIN 18873-3 Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 3: Fritteusen

Stefanie König und Jörg Andreä

Kurzfassung

Die Messungen zum Energieverbrauch von gewerblichen Fritteusen nach DIN 18873-3 werden mit Pommes Frites durchgeführt, die als natürliches Lebensmittel Schwankungen in Zusammensetzung und Eigenschaften unterworfen sind. Der Artikel fasst die Ergebnisse von Abschlussarbeiten an der HAW Hamburg und weiteren Hochschulen auf der Suche nach möglichen Ersatzstoffen zusammen. Bisher kann kein geeignetes neutrales Prüfmedium mit vergleichbaren Eigenschaften identifiziert werden, jedoch können die Messungen mit Pommes Frites vermutlich teilweise durch Berechnungen ersetzt werden.

Schlagerworte: Energieverbrauchsmessung, Gewerbliche Fritteusen, Frittiervorgang, Ersatz von Pommes Frites, neutrale Prüfmedien

Neutral test media in connection with DIN 18873-3 Methods for determining the energy consumption of commercial kitchen appliances – Part 3: Deep Fryers

Abstract

The measurements on the energy consumption of commercial deep fryers according to DIN 18873-3 are conducted with French fries, which are subject to fluctuations in composition and properties as natural foods. The article summarizes the results of theses at the HAW Hamburg and other universities in search of possible substitutes. So far, no suitable neutral test medium with comparable properties could be identified, but the measurements with French fries can probably be partially replaced by calculations.

Keywords: Energy consumption measurement, Commercial deep fryers, Deep frying process, Substitute for French fries, Neutral test media

Neutrale Prüfmedien in Zusammenhang mit DIN 18873-3 Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 3: Fritteusen

Stefanie König und Jörg Andreä

Zielsetzung

Zur Messung des Energieverbrauchs nach der Norm DIN 18873-3 von gewerblich eingesetzten Fritteusen werden aktuell Pommes Frites eingesetzt. Um zum einen von den schwankenden Eigenschaften natürlicher Lebensmittel unabhängig zu werden, die auch Auswirkungen auf die Messergebnisse haben, zum anderen deren Verschwendung entgegenzuwirken, werden im Auftrag des HKI Industrieverbands Haus-, Heiz- und Küchentechnik e. V. im Zeitraum 2014 - 2018 mehrere Studien an Hochschulen durchgeführt, um mögliche Ersatzstoffe zu identifizieren. Derzeit werden beispielsweise für Messungen an Heißluftdämpfern nach DIN 18873-1 wassergetränkte Ziegelsteine nach der Norm DIN EN 60350-1 für Backöfen verwendet, um ein Lebensmittel zu simulieren.

Der vorliegende Beitrag soll eine Übersicht der Ergebnisse der als vier Teilprojekte durchgeführten Abschlussarbeiten, drei Bachelorarbeiten und einer Masterarbeit geben (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht der als Teilprojekte durchgeführten Abschlussarbeiten

Teilprojekt Nr.	Autorin, Jahr	Titel, Art der Abschlussarbeit und Hochschule, Datum
1	Glonner, 2014	Untersuchungen zur Ermittlung von Ersatzstoffen zur Substitution von Lebensmitteln bei der Energieverbrauchsmessung gemäß nach DIN 18873-3, Bachelor-Thesis Hochschule Albstadt-Sigmaringen, März 2014
2	König, 2015	Untersuchung des Frittierprozesses bei Pommes Frites und Entwicklung eines neutralen Prüfmediums für die Energieverbrauchsmessung nach DIN 18873-3 an Großküchenfritteusen, Master-Thesis HAW Hamburg, 18.9.2015
3	Krüger, 2017	Untersuchung der Wasserverdampfung beim Frittierprozess von Pommes Frites und Prüfung möglicher Ersatzmedien für die Energieverbrauchsmessung nach DIN 18873-3 an gewerblichen Fritteusen, Bachelor-Thesis HAW Hamburg, 16.8.2017
4	Klysz, 2018	Entwicklung und Prüfung von Ersatzstoffen für die Bestimmung des Energieverbrauchs bei gewerblichen Fritteusen nach DIN 18873-3, Bachelor-Thesis HAW Hamburg, 30.8.2018

Deren Ziel ist die Untersuchung des Frittierprozesses hinsichtlich chemischer und physikalischer Vorgänge sowie die Suche nach geeigneten, neutralen Prüfmedien, die den Anforderungen der Energieverbrauchsmessung an Großküchenfritteusen nach DIN 18873-3:2011-05 (Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 3: Fritteusen) gerecht werden.

Der Frittierprozess

Im nachfolgenden Abschnitt werden die physikalischen und chemischen Vorgänge des Frittierens beschrieben. Das Verständnis dieses Prozesses dient als wichtige Grundlage für die Suche nach geeigneten Ersatzstoffen.

Wärme- und Massentransfer des Frittierprozesses

Beim Frittieren handelt es sich um einen Garprozess, bei dem das Lebensmittel vollständig in ein Frittiermedium (Speisefett/-öl bei ca. 140 - 180 °C) eintaucht. Zwischen dem Frittiergut und dem Medium findet ein gekoppelter Wärme- und Massentransport statt (Gertz & Matthäus 2012). Der Wärmetransport erfolgt dabei durch die Kombination aus Konvektion (Öl) und Wärmeleitung. Freies, an das Lebensmittel gebundenes Wasser verlässt das Frittiergut in Form von Wasserdampf (Massentransport). Dieser Vorgang ist hauptsächlich für den Gewichtsverlust des Frittierguts verantwortlich und benötigt einen Großteil der Energie, die über das heiße Frittiermedium zugeführt wird. Beeinflusst wird der Garprozess durch die verwendete Sorte des Frittieröls, die Zusammensetzung des Lebensmittels sowie die Art der Vorbehandlung des Frittierguts.

Bedingt durch die Art und Zusammensetzung des zu frittierenden Lebensmittels kommt es zu einer Vielzahl von chemischen Reaktionen: Gelbildung der Stärke, Maillard-Reaktion (Reaktion freier Aminosäuren und reduzierender Zucker), Proteindenaturierung und Absinken der Wasseraktivität (Abnahme des Gehalts an frei verfügbarem Wasser). Die Dehydratation im Lebensmittel führt zu einer Texturänderung. Es kommt zur Krustenbildung an der Lebensmitteloberfläche und zur Entstehung von Poren. Letztere bewirken den Öleintritt in das Lebensmittel, der verstärkt nach der Entnahme des Frittierguts aus dem Frittiermedium stattfindet.

Im Folgenden wird die Einteilung des Frittierprozesses in vier Phasen nach Alvis et al. (2009) vorgestellt:

- Phase 1: Aufwärmen von Trockenmasse und Wasser (Initial heating)

Die Lebensmitteloberfläche erwärmt sich bis zum Siedepunkt von Wasser. Der Wärmetransport erfolgt über natürliche Konvektion, zu einer Wasserverdampfung kommt es in dieser Phase jedoch noch nicht.

- Phase 2: Wasserverdampfung an der Oberfläche (Surface boiling)
Die Wasserverdampfung setzt an der Lebensmitteloberfläche ein und es kommt zur Blasenbildung. Dadurch werden Turbulenzen im Öl nahe des Frittierguts initiiert, die eine Umwandlung der natürlichen Konvektion zu Zwangskonvektion bewirken. In dieser Phase kommt es zur Krustenbildung an der Lebensmitteloberfläche.
- Phase 3: Rückgang der Verdampfungsgeschwindigkeit (Falling rate)
Der Kern des Lebensmittels wird bis zum Siedepunkt erwärmt. Es kommt zu Gelbildung der Stärke und Proteindenaturierung. An der Oberfläche nimmt die Dicke der gebildeten Kruste weiter zu. Die Geschwindigkeit der Wasserverdampfung verringert sich jedoch.
- Phase 4: Endpunkt der Verdampfung (Bubble end point)
Die Dampfblasenbildung an der Oberfläche des Lebensmittels und somit auch der Wasserverlust stellen sich langsam ein.

Ölaufnahme durch das Produkt

Es gibt verschiedene Mechanismen, die für die Aufnahme von Öl in das Lebensmittel verantwortlich sind: Zum einen gelangt Öl über die Poren, die bei der Verdampfung von Wasser entstehen, in das Produkt, zum anderen kommt es während der Abkühlphase des Lebensmittels zur Absorption von an der Oberfläche haftendem Öl. Ursache dafür ist das Absinken des Drucks im Produktinneren auf Grund von Wasserdampfkondensation nach dem Frittieren. Frittierte Produkte besitzen einen relativ hohen Gesamtfettanteil.

Chemische Reaktionen innerhalb des Frittiermediums

Beim Frittieren wird das Frittiermedium (Öl bzw. Fett) hohen Temperaturen im Bereich von 140 bis 180 °C ausgesetzt. Unter diesen Bedingungen laufen komplexe Reaktionen oxidativer, thermischer und hydrolytischer Natur unter Einflussnahme von Sauerstoff, Wärme und aus dem Lebensmittel stammendem Wasser ab. Die Lipidperoxidation ist eine von Radikalen initiierte Kettenreaktion, die durch Einwirkung von Licht und Wärme oder durch Anwesenheit von Schwermetallionen begünstigt wird. In der Induktionsphase kommt es durch Einwirkung von Wärme oder Licht zur Entstehung freier Radikale R^* (R = Fettsäurerest), die mit dem Umgebungssauerstoff (O_2) zu Fettsäureperoxid-Radikalen (ROO^*) reagieren. Dieser Anfangsphase folgt eine Reaktion des Kettenwachstums. Die entstandenen Radikale ROO^* bilden mit einem Wasserstoffatom (H) einer Fettsäure ein Molekül Fettsäureperoxid ($ROOH$).

Die um ein Wasserstoffatom verminderte Fettsäure reagiert, nun selbst als Radikal fungierend, mit Sauerstoff (O_2) zu ROO^* und entzieht einer weiteren Fettsäure das Wasserstoffatom. $ROOH$ ist sehr instabil und zerfällt in die Radikale RO^* und OH^* , die mit Sauerstoff oder gebundenen Fettsäuren Verbindungen eingehen können (Kettenverzweigungsreaktion). Bei steigender Konzentration an Radikalen kommt es außerdem zu einer Kettenabbruchreaktion durch Aufeinandertreffen von Radikalen. Zu den Endprodukten der Reaktion zählen Monomere, Dimere und Oligomere von Triglyceriden unterschiedlicher Polarität und Stabilität. Die das Frittiermedium betreffenden, thermischen Reaktionen finden ohne die Beteiligung von Sauerstoff statt. Es kommt zur Bildung von Verbindungen mit geringer bzw. ohne Polarität (nicht polare Dimere und Isomere von Triglyceriden). Die Hydrolyse findet unter Einfluss von Feuchtigkeit statt. Sie spielt beim Frittieren eine relativ große Rolle, da viele Frittierprodukte im Rohzustand einen hohen Wassergehalt aufweisen. Im Vergleich zu den genannten oxidativen und thermischen Reaktionen wird bei der Hydrolyse das Molekül des Triglycerids aufgebrochen. Dabei entstehen ein Diglycerid und eine freie Fettsäure.

Nichtenzymatische Bräunung im Frittierprodukt

Bei Lebensmitteln treten drei Formen der Bräunung auf. Das auf hohen Temperaturen beruhende Karamellisieren von Zuckern, die von Enzymen (Peroxidase, Oxidase, Lipoxygenase) katalysierte enzymatische Bräunung sowie die nichtenzymatische Bräunung. Letztere beschreibt die Reaktion von Aminen oder Aminosäuren mit einem Aldehyd. Die nichtenzymatische Bräunung, die nach ihrem Entdecker auch als Maillardreaktion benannt ist, besteht aus einer komplexen Abfolge verschiedener Reaktionen mit verschiedenen End- und Nebenprodukten. Sie spielt eine große Rolle bei der Bildung von Aromen, Farbstoffen und Antioxidantien z. B. bei Backwaren, beim Braten von Fleisch oder beim Frittieren.

Auch gerösteter Kaffee beinhaltet eine Vielzahl von Produkten der Maillardreaktion. Neben den genannten positiven Eigenschaften kommt es beim Grillen, Backen und Frittieren unter Einflussnahme hoher Temperaturen zur Entstehung von heterozyklischen Aminen, die als Mutagene wirken, wie z. B. Acrylamid, dessen Kanzerogenität seit einigen Jahren erforscht wird. Eine weitere Folge der Maillardreaktion ist die Minderung des ernährungsphysiologischen Wertes durch Verlust der Aminosäure Lysin. Im Vergleich zu anderen Aminosäuren ist Lysin in Bezug auf die enzymatische Bräunung sehr reaktiv. Initiiert wird die nichtenzymatische Bräunung durch eine Additionsreaktion von primären Aminen oder Aminosäuren mit einem Aldehyd unter Abspaltung eines Wassermoleküls. Die dabei entstehenden Kondensationsprodukte, auch als Schiff'sche Basen bezeichnet, sind farblos und reversibel.

Durch Isomerisierung kommt es bei pH-Werten von 4 bis 7 zu Umlagerungen von 1-Amino-Aldose in 1-Amino-2-Ketose. Dieser Vorgang wird als Amadori-Umlagerung bezeichnet. Durch Protonierung am Stickstoff oder Sauerstoffatom zerfallen die Amadori-Verbindungen. Aus deren Zwischenprodukten entstehen in weiteren Reaktionen (Dehydratisierung, Zyklisierung) die rötlich-gelben bis braunen Pigmente Deoxyglykosone, Furane oder Pyranerivate. Im Endstadium der nicht-enzymatischen Bräunung reagieren die Furane Furfural und Hydroxymethylfurfural durch Polymerisierung zu braunen bis dunkelbraunen Pigmenten. Endprodukte sind Melanoidine, die sich durch Röstaromen auszeichnen. Zudem geschmacksgebend sind die sogenannten Strecker-Aldehyde. Diese entstehen in einer Reduktions-Oxidations-Reaktion, dem Strecker-Abbau, zwischen Aminosäuren und den aus dem Zerfall der Amadori-Verbindungen resultierenden Dicarbonyl-Verbindungen.

Interaktionen zwischen Lebensmittel und Frittiermedium

Die Dehydratation während des Frittierprozesses unterteilt das frittierte Produkt in zwei Schichten, in die Kruste an der Produktoberfläche und den Kernbereich (Temperatur unter 100 °C). Wasserverlust und Aufnahme von Öl sind temperaturabhängig. Je höher die Temperatur, desto weniger Öl wird vom Produkt aufgenommen, und desto kürzer ist die Dauer des Frittierens. Die Beschaffenheit des Endprodukts hängt von Lebensmittelzusammensetzung, Oberflächenstruktur, Produktform, Porosität und Vorbehandlungsart (z. B. Blanchieren) ab. Dagegen hat die Art des Öls deutlich geringeren Einfluss auf das Resultat des Frittiervorgangs. Entscheidend bei der Wahl des Frittiermediums ist die Qualität des Öls bzw. Fetts. Wird das Öl erhitzt, entstehen verschiedene Nebenprodukte, welche die Polarität des gesamten Mediums beeinflussen. In Bezug auf die Interaktion zwischen Frittiermedium und Lebensmittel spielen polare Substanzen eine wichtige Rolle. Enthält das Medium wenig bis keine polaren Komponenten, was bei sehr frischem Öl der Fall ist, so kommt es nur erschwert zum Wärmetransfer vom Medium auf das Lebensmittel.

Polare Substanzen fördern den Kontakt zwischen Öl und Wasser, das ursprünglich aus dem Lebensmittel stammt. Dem zu Grunde liegt das Modell grenzflächenaktiver Stoffe (Phospholipide, amphiphile Verbindungen, Diglyceride), die bei Ölabbauprozessen unter dem Einfluss hoher Temperaturen entstehen oder aus dem Lebensmittel selbst stammen. Sie sind entscheidend für die Qualität des Endprodukts. Ist der Anteil an grenzflächenaktiven Substanzen zu gering, entwickeln sich nur wenig Farb- und Aromastoffe. Ist er jedoch zu hoch, kommt es zu verstärkter Absorption von Öl, Fehlentwicklung von Aromen und dunkler Kruste.

Total Polar Materials

Abbauprodukte des Öls werden als Total Polar Materials (TPM), d. h. Gesamtanteil aller polaren Substanzen, bezeichnet. Darunter fallen freie Fettsäuren, Mono- und Diglyceride sowie Oxidationsprodukte wie Ketone und Aldehyde. Neben Geschmack, Farbe und Konsistenz haben diese Verbindungen zudem starken Einfluss auf die Ölqualität. Der Zustand des Öls verändert sich im Laufe seiner Verwendung (Befüllung der Fritteuse mit frischem Öl bis Entsorgung des verbrauchten Öls) durch die beim Frittieren stattfindenden Reaktionen. Im frischen Öl sind weder Frittieraromen noch polare Abbauprodukte anwesend. Bei erstmaligem Frittieren mit frischem Öl verdampft das Wasser des Frittierguts nur sehr langsam, da noch keine polaren Verbindungen für den Wasserabtransport sorgen. Als Resultat verbleibt ein relativ feuchtes, kaum gebräuntes Produkt. Erhitzung und Kontakt mit Luftsauerstoff regen den Abbau des Frittieröls und damit die Produktion von polaren Substanzen an. Erreichen diese Stoffe einen prozentualen Anteil von 14 bis 22 %, liegen optimale Bedingungen vor, unter denen das Wasser des Garguts ausreichend verdampft werden kann. Durch den so besser gewährleisteten Wasserabtransport werden die Reaktionen der nichtenzymatischen Bräunung gefördert. Im Laufe der weiteren Verwendung des Frittieröls nimmt der Gehalt an polaren Verbindungen im Öl weiter zu. Der Wasserabtransport erfolgt daher sehr schnell und ermöglicht dem Frittiermedium einen langen Kontakt mit dem Frittiergut, was zu verstärkter Fettaufnahme führt. Als Methode zur Bestimmung des TPM-Werts dient im Labor die Säulenchromatographie, bei der die Probe des zu bestimmenden Fetts das Füllmaterial einer Säule durchläuft, die polare Anteile zurückhält. In der Praxis werden jedoch vorwiegend Messgeräte zur Bestimmung des TPM-Werts verwendet.

Neutrale Prüfmedien

Die Norm DIN 18873-3 ist vom Arbeitsausschuss „Großküchengeräte“ im DIN-Normausschuss Heiz-, Koch- und Wärmegeräte (FNH) im März 2010 erstmalig veröffentlicht worden. Mittlerweile ist mit der aktuellen Ausgabe vom Februar 2018 die vierte Ausgabe der DIN-Norm verfügbar (DIN 18873-3:2018-02). Ziel ist es, den Energieverbrauch von Großküchen-Fritteusen unter standardisierten Bedingungen messbar und damit vergleichbar zu machen.

Im Vorheiz- (Abschnitt 6 der Norm) und Warmhaltezyklus (Abschnitt 7) ist das Gerät bis zur Mindestfüllmenge nur mit Frittieröl befüllt, das nach den Kriterien der Norm zu 80 % aus reinem Sonnenblumenöl und zu 20 % aus reinem Rapsöl ohne weitere Zusätze besteht (Abschnitt 5.1). Im anschließenden Frittierzyklus werden dann drei Chargen tiefgekühlter Pommes Frites bis zu einem Gewichtsverlust von jeweils (36 ± 2) % frittiert, wobei durch Vorversuche die maximale Frittiermenge ermittelt wird, bei der die Frittieröltemperatur von einer Ausgangstemperatur von (175 ± 5) °C nach Zugabe der Charge nicht unter 145 °C absinkt.

Als Endergebnis werden dann als wichtigste Vergleichsgrößen die Produktionsmenge pro Stunde (siehe Abschnitt 8.4.4 der Norm) und der Gesamtenergieverbrauch pro Kilogramm tiefgekühlter Pommes Frites (siehe Abschnitt 9.1 der Norm) der Fritteuse ermittelt. Die Werte werden von den Herstellern auf freiwilliger Basis auf der Datenbank HKI Cert Großküchentechnik veröffentlicht (HKI – Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e. V. 2021).

Die Verwendung von Pommes Frites als Frittiergut bringt im Wesentlichen zwei Nachteile mit sich. Zum einen sind in DIN 18873-3 nur die Schnittgröße 9 x 9 mm sowie der Behandlungszustand (blanchiert, vorgebacken und bei -18 °C tiefgekühlt) vorgegeben. Durch die Verwendung von Kartoffeln als Ausgangsbasis ist das Lebensmittel jedoch natürlichen Schwankungen unterworfen. So können Wasser- und Stärkeanteil sowie Struktur variieren. Zum anderen soll Lebensmittelverschwendung weitgehend vermieden werden (so hat das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung 2019 die Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung verabschiedet).

Daher entsteht die Idee, Pommes Frites als Lebensmittel durch neutrale Prüfmedien zu ersetzen, so wie es beim Haushaltsbackofen (DIN EN 60350-1) und davon abgeleitet beim Heißluftdämpfer (DIN 18873-1) mit Wasser getränkten Ziegelsteinen (Hipor-Bricks des dänischen Herstellers Skamol) seit Jahren erfolgreiche Praxis ist. Dies könnte auch eine Verbreitung der Norm in Europa und weltweit unterstützen. Dazu liegen eine Bachelorarbeit (2014) an der Hochschule Albstadt-Sigmaringen sowie eine Masterarbeit (2015) und zwei Bachelorarbeiten (2017, 2018) an der HAW Hamburg vor, über deren Ergebnisse nachfolgend berichtet wird.

Untersuchungsergebnisse

In Untersuchungen des Frittierprozesses wird ermittelt, dass der Großteil der zum Frittieren benötigten Energie zum Verdampfen von Wasser erforderlich ist. Daher wird im Rahmen der genannten Abschlussarbeiten versucht, Systeme nachzubilden, die Wasser in einer Fritteuse verdampfen können, ohne dass es zu einer explosionsartigen sofortigen Verdampfung größerer Wassermengen kommt, wenn diese direkt in eine Fritteuse gegeben würden.

Teilprojekt 1: Filzblock, Verdampferkonstrukt (Variante 1)

In Teilprojekt 1 ist zum einen nasser technischer Filz als möglicher Ersatzstoff untersucht worden. Zum anderen ist ein wassergefülltes Verdampferkonstrukt (Variante 1) auf Basis von Edelstahlhülsen, die an ein Edelstahlband geschweißt sind, entwickelt worden, das in die Fritteuse gebracht werden kann. Die einseitig verschlossenen Rohre werden mit Wasser befüllt. Um einen Austritt von Wasser beim Sieden in die Fritteuse zu verhindern, sind zusätzlich Kunststoffschläuche angebracht (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Verdampferkonstrukt (Variante 1) aus einseitig verschlossenen Edelstahlrohren (Nachbau MKN von Teilprojekt 1, Foto Fritz Kropholler)

Während Filz hauptsächlich aus Kosten- und Praktikabilitätsgründen abgelehnt wird, wird im Verdampferkonstrukt hohes Potential gesehen, Pommes Frites ersetzen zu können. Der Hauptvorteil von Letzterem ist die Wiederverwendbarkeit, allerdings lässt sich damit kein vergleichbarer Energieverbrauch messen.

Teilprojekt 2: Würfel aus porösen Werkstoffen

In Teilprojekt 2 befasst sich Stefanie König mit der Untersuchung des Frittierverhaltens (Wasserabgabe und Ölabsorption) von Pommes Frites sowie den Werkstoffen Hipor, Porenbeton, Kalksandstein und Cordierit (siehe Abb. 2). Alle getesteten Werkstoffe werden für die Versuche in Würfel der Kantenlänge 20 mm geschnitten. Die Materialien überstehen das Einfrieren bei -18 °C sowie den schnellen Temperaturwechsel bei Eingabe in das Frittieröl (ca. 180 °C).



Abb. 2: Würfel der Kantenlänge ca. 20 mm aus den Werkstoffen Hipor, Porenbeton, Kalksandstein und Cordierit (von links nach rechts, Teilprojekt 2)

Für die Werkstoffe wird zudem das Wasseraufnahmevermögen ermittelt. Dabei zeigt sich, dass der Werkstoff Kalksandstein mit 11 % weit unter den Werten von Hipor (105 %), Porenbeton (84 %) und Cordierit (61 %) liegt. Nicht frittierte Pommes Frites enthalten im Mittel 72 % Wasser (Wert ermittelt durch die Trockenschrankmethode, Teilprojekt 2) und liegen damit zwischen den Werten von Porenbeton und Cordierit. Mit Ausnahme von Kalksandstein steigt die vom Werkstoff absorbierte Ölmenge mit zunehmender Frittierzeit bei allen Materialien an. Bei 4:30 min im heißen Öl nehmen Pommes Frites durchschnittlich 3,4 % Frittieröl auf. Die Werte der Werkstoffe von Porenbeton (28 %) und Hipor (35 %) liegen deutlich höher. Die Wasserabgabe steigt bei allen vier Werkstoffen mit Zunahme der Frittierzeit. Bei Kalksandstein und Cordierit ist eine maximale Frittierzeit von 3:00 min möglich, da vergleichsweise weniger Wasser im Werkstoff enthalten ist und dieses zudem schneller entweicht. Hipor und Porenbeton zeigen bei einer Frittierdauer von 4:30 min mit 40 % bzw. 36 % Wasserabgabe vergleichbare Werte wie 800 g Pommes Frites mit 38 %. Aus diesem Grund werden diese beiden Werkstoffe als mögliches Prüfmedium für die Energieverbrauchsmessungen in Anlehnung an die DIN 18873-3:2011-05 getestet. Für jeden Werkstoff wird eine Messreihe mit drei Chargen Hipor-Würfeln und zwei Chargen Porenbeton frittiert. Um die Wasserdampfmenge, die beim Frittieren von 800 g Pommes Frites über 4:30 min Frittierzeit entweicht, auch bei den Werkstoffen zu erreichen, werden Trockenmassen von 704 g Hipor bzw. 969 g Porenbeton benötigt. Nach Vorbereitung der Würfel (Wasserbad, Tiefkühlschrank) ergeben sich Chargengrößen von 1.426 g Hipor und 1.684 g Porenbeton. Bedingt durch die größere Beschickungsmenge kommt es beim Frittierprozess zu einem stärkeren Absinken der Öltemperatur als bei Pommes Frites. Folglich ist der Energieverbrauch pro Charge für Hipor (0,6 kWh) und Porenbeton (0,5 kWh) etwas größer als bei Pommes Frites (0,4 kWh). Der Energieverbrauch für die reine Frittierzeit von 4:30 min beträgt bei Hipor und Porenbeton jeweils ca. 0,40 kWh, bei Pommes Frites 0,37 kWh.

Insgesamt sind Porenbeton und Hipor für den Einsatz als neutrales Prüfmedium für die Energieverbrauchsbestimmung an Großküchenfritteusen nach DIN 18873-3:2011-05 grundsätzlich geeignet. Aufgrund der geringen Anzahl an Versuchsreihen, bedingt durch den zeitlichen Rahmen des Teilprojekts, bedarf es weiterer Messungen zur Validierung der erzielten Ergebnisse. Der Werkstoff Hipor zeigt ein höheres Wasseraufnahmevermögen und erweist sich daher für die Messungen als praktikabler, da weniger Trockensubstanz vorbereitet werden muss als bei Porenbeton. Von Nachteil ist jedoch die hohe Fettaufnahme beider Werkstoffe. Der Ölstand der Fritteuse müsste bei mehreren aufeinanderfolgenden Messreihen dementsprechend kontrolliert werden, um die Versuchsbedingungen konstant zu halten. Auch sind beide Werkstoffe nach dem Frittieren nicht wiederverwendbar.

Zudem ist der zu erwärmende Anteil Trockenmasse deutlich größer als bei Pommes Frites, die nachgebildet werden sollen, so dass sich der Energieaufwand deutlich unterscheidet.

Teilprojekt 3: Kugeln aus Knödel- und Kartoffelpüreepulver, Verdampferkonstrukt (Variante 2)

Bei Teilprojekt 3 sind von Annika Krüger als Prüfmedien zum einen Knödel- und Kartoffelpüree-Pulver betrachtet worden, da hier der Wasseranteil durch die verwendete Rezeptur bei der Zubereitung bestimmt werden kann. Die daraus geformten und anschließend tiefgekühlten Kugeln mit einem Durchmesser von etwa 2,7 cm weisen jedoch Nachteile beim Handling und bei der Vergleichbarkeit der Versuche auf. So platzen die Kugeln beim Frittieren teilweise auf (siehe Abb. 3), und der mit einer Haushaltsfritteuse ermittelte zeitliche Gewichtsverlust verläuft nicht bei allen Chargen gleichartig. Auch sind die verwendeten Zutaten hersteller- und chargenabhängigen Schwankungen unterworfen und werden letztlich ebenfalls auf Kartoffelbasis hergestellt. Zum anderen wird ein weiteres Verdampferkonstrukt (Variante 2) entwickelt, das die Nachteile der in Teilprojekt 1 untersuchten Lösung vermeiden soll. Diese bestehen insbesondere in der hohen Wärmekapazität und Wärmeleitung der in die Fritteuse eingebrachten Edelstahlzylinder. Jedoch erweist sich die für eine Haushaltsfritteuse aufgebaute Lösung, bei der wassergefüllte Reagenzgläser in ein Edelstahlstativ eingehängt werden (siehe Abb. 4), durch das Austreten von siedendem Wasser und das Zerbersten von Reagenzgläsern ebenfalls als problematisch.



Abb. 3: Aus Knödelpulver (links) und Kartoffelpüreepulver (rechts) geformte Kugeln nach dem Frittieren (Teilprojekt 3)

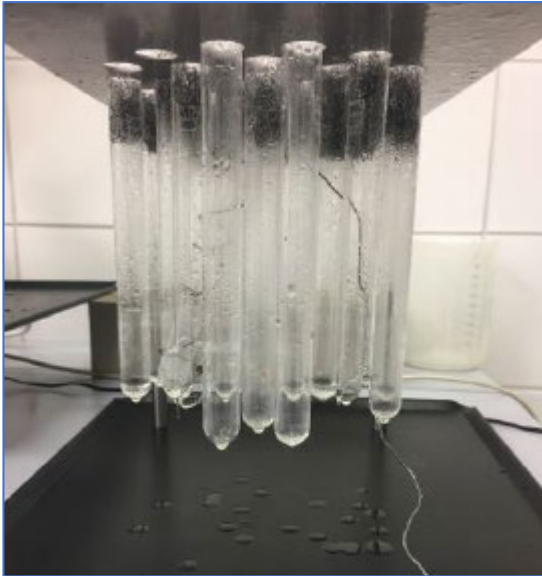


Abb. 4: Mit Stahlwolle verschlossene Reagenzgläser in Haltevorrichtung nach dem Frittieren (Teilprojekt 3)

Teilprojekt 4: Synthetische Stäbchen auf Basis von Kartoffelprodukten

Bei Teilprojekt 4 werden von Nadine Klysz schließlich unterschiedliche Rezepturen aus den Zutaten Kartoffelstärke, Kartoffelflocken und Kartoffelproteinpulver, Öl und Wasser untersucht. Der Wassergehalt der Rezepturen beträgt 70 % und orientiert sich damit am Wassergehalt tiefgefrorener Pommes Frites. Nach dem Erhitzen und Verkleistern der Stärke wird die Masse jeweils in eigens hergestellte Silikonformen mit einer Länge von 50 mm und einer Schnittfläche von 15×15 mm realen Pommes Frites nachgebildet (aus Stabilitätsgründen muss die Schnittfläche größer als in der Norm mit 9×9 mm vorgegeben gewählt werden). Durch Einfrieren der Silikonformen ergeben sich weitgehend stabile Stäbchen, die direkt in die Fritteuse gegeben werden können. Die gewählten Rezepturen zeigen unterschiedliche Werte für die Wasserverdampfung und Ölaufnahme, die sich teilweise deutlich von Pommes Frites unterscheiden (siehe Abb. 5). Die Verwendung von Kartoffelflocken führt zum Aufplatzen von Stäbchen und bringt den Nachteil mit sich, dass auch hier wieder ein natürliches Lebensmittel zugrunde liegt, und ein Teil der Trockenmasse nicht standardisiert werden kann.

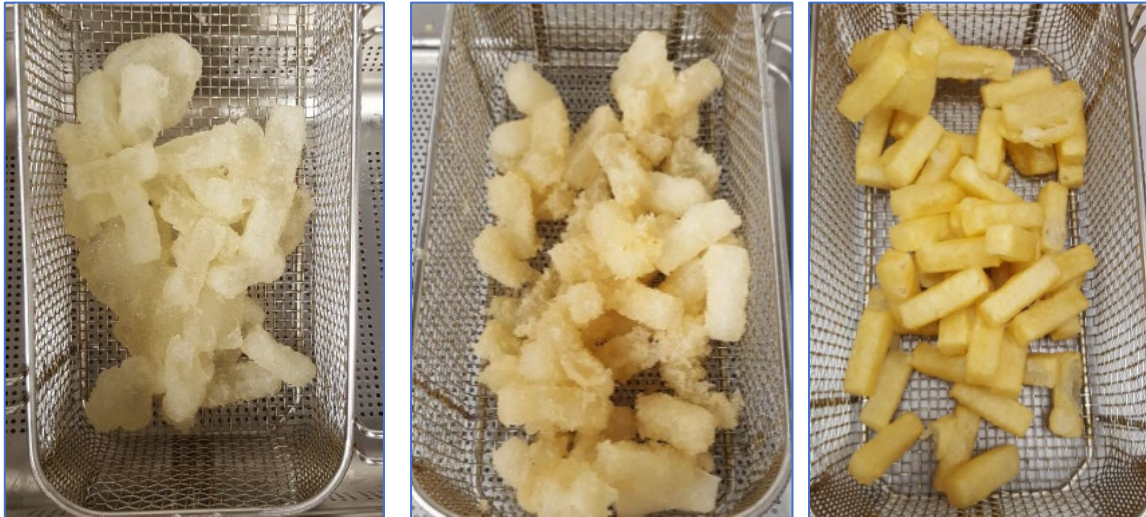


Abb. 5: Stäbchen aus Stärke und Wasser (links), Stärke, Wasser, Protein und Fett (Mitte) und Kartoffelflocken, Stärke und Wasser (rechts) jeweils nach dem Frittieren (Teilprojekt 4). Der Wasseranteil liegt jeweils bei 70 %.

Tab. 2 gibt einen Überblick über die untersuchten Ersatzstoffe und die dabei gefundenen Probleme.

Tab. 2: Vergleich der untersuchten Ersatzstoffe für Fritteusen. Technisch interessante Varianten sind fett markiert.

Ersatzstoff	Form	TP Nr.	Nachteile
Filz	Block	1	hohe Fettaufnahme, Geruch
Verdampferkonstrukt 1	Edelstahlrohre	1	hohe Wärmekapazität, hohe Wärmeabfuhr
Hipor	Würfel	2	hohe Trockenmasse, hohe Ölaufnahme
Porenbeton	Würfel	2	hohe Trockenmasse, hohe Ölaufnahme
Kalksandstein	Würfel	2	sehr geringe Wasseraufnahme
Cordierit	Würfel	2	hohe Trockenmasse, hohe Ölaufnahme
Knödelpulver	Kugeln	3	Aufplatzen beim Frittieren
Kartoffelpüree	Kugeln	3	Aufplatzen beim Frittieren
Verdampferkonstrukt 2	Reagenzgläser	3	Zerbersten der Gläser, Austreten von Wasser
Stärke, Wasser	Stäbchen	4	Volumenvergrößerung beim Frittieren, geringe Wasserabgabe
Stärke, Wasser, Protein	Stäbchen	4	Festkleben am Frittierkorb, hohe Fettaufnahme
Kartoffelflocken, Stärke, Wasser	Stäbchen	4	Volumenvergrößerung beim Frittieren, beim Frittieren kann Explosion auftreten

Bestimmung des Energieverbrauchs von Fritteusen nach DIN 18873-3

Messreihen zur Bestimmung des Energieverbrauchs

Die nachfolgende Versuchsreihe aus Teilprojekt 2 zeigt die Bestimmung des Energieverbrauchs der MKN Elektro-Fritteuse London I beim Frittieren von Pommes Frites. Die Versuchsreihe „Frittierzyklus bei 180 °C“ wird nach den Vorgaben der DIN 18873-3:2011-05 durchgeführt. Der Temperaturwert 180 °C ist die maximale Einstellung, die von der Norm abgedeckt ist. Die zweite bzw. dritte Charge beginnt, sobald das Frittieröl erneut eine Mindesttemperatur von 175 ± 5 °C erreicht hat (vgl. DIN 18873-3:2011-05, 8.2 e). Versuchsreihe: „Frittierzyklus bei 180 °C“

Bei einer Temperatureinstellung von 180 °C dauert der Vorheizzyklus durchschnittlich 6,9 min, bis sich das Öl von 22 °C auf 177 °C erwärmt hat. Nach Abschalten der Heizung wärmt sich das Öl aufgrund der Nachwärme des Heizelements weiter auf und erreicht eine Maximaltemperatur von ca. 183 °C. Für den Vorheizzyklus ergibt sich bei dieser Versuchsreihe ein Energieverbrauch E_1 von 0,677 kWh (die theoretisch aufgenommene Wärmemenge Q der Ölmischung beträgt 0,670 kWh). In der Warmhaltephase über zwei Stunden setzt die Heizung der MKN Elektro-Fritteuse jeweils neunmal mit einer Heizdauer von jeweils 61 s ein. Die Öltemperatur befindet sich dabei im Bereich von 160 bis 180 °C. Der durchschnittliche Energieverbrauch E_2 der Warmhaltephase beträgt 0,821 kWh.

Nach Beendigung der Warmhaltephase wird die Einstellung am Gerät von 175 °C auf 180 °C erhöht. Dafür ist ein Energiebetrag von $0,096 \pm 0,021$ kWh erforderlich. Wird eine Charge von ca. 800 g Pommes Frites in das heiße Öl gegeben, sinkt die Öltemperatur auf Grund der Wärmeaufnahme des gefrorenen Frittierguts. Ab einem Wert von durchschnittlich 150 °C setzt die Heizung der Fritteuse ein, um dem Temperaturrückgang entgegenzuwirken.

Bevor mit der zweiten bzw. dritten Charge begonnen werden kann, muss die Öltemperatur wieder 175 ± 5 °C betragen. Durchschnittlich wird hier eine Dauer von 0,301 h (18 min) pro Frittierzyklus (drei Chargen) gemessen. Die reine Frittierzeit beträgt 0,225 h (13,5 min). Bei einer Geräteeinstellung von 180 °C beträgt der Zeitraum, bis der erforderliche Temperaturbereich erneut erreicht wird und eine zweite bzw. dritte Charge in das heiße Fett gegeben werden kann, etwa 4,5 min. Der Energieverbrauch E_3 beträgt 1,157 kWh. Pro Messreihe liegt der Gesamtenergieverbrauch bei 3,9 kWh. Tab. 3 gibt einen Überblick über die Mittelwerte von drei Versuchsreihen.

Tab. 3: Mittelwerte der Versuchsergebnisse der Messreihe „Frittierzyklus bei 180 °C“ (Teilprojekt 2)

Parameter	Einheit	Frittierzyklus bei 180 °C
Energieverbrauch E_1	kWh	0,677 ± 0,042
Energieverbrauch E_2	kWh	0,821 ± 0,011
Energieverbrauch E_3	kWh	1,157 ± 0,034
Gesamtenergieverbrauch E_4	kWh	3,908 ± 0,130
Gesamtenergieverbrauch je kg E_{kg}	kWh/kg	0,813 ± 0,027
Gesamtfrittierzeit t_4	h	0,301 ± 0,001

E_1 : Vorheizen; E_2 : Warmhalten über 2 Stunden; E_3 : Frittieren von 3 Chargen Pommes Frites; E_4 : Summe aus E_1 , E_2 und $n \cdot E_3$ (Nutzungsfaktor $n = 2$); E_{kg} : Gesamtenergieverbrauch je kg Pommes Frites (TK) $E_{kg} = E_4 / (n \cdot M)$; Nutzungsfaktor $n = 2$; M : Gesamtmasse der Pommes Frites in kg.

Berechnung des Energieverbrauchs

Der Energieverbrauch zum Verdampfen von Wasser und zur Erwärmung der Pommes Frites lässt sich anhand physikalischer Vorgänge berechnen. Beim Frittieren kommt dazu noch der Energieverlust zum Warmhalten des Frittierbads durch Wärmeabgabe (Frittierbehälter und Umgebungsluft) hinzu. Dieser Energieverlust wird durch beim Frittieren austretenden Wasserdampf vermutlich gegenüber einem leeren Frittierbad etwas vergrößert sein. Folglich könnte der Energieverbrauch im Frittierzyklus E_3 alternativ aus der Messung des Energieverbrauchs zum Warmhalten des Ölbades E_2 errechnet werden, wenn die Frittiermenge m_2 und die Gesamtfrittierzeit t_4 bekannt sind.

Im ersten Schritt findet eine Abkühlung des Frittierbads durch die zugegebenen Pommes Frites statt. Die sich einstellende Öltemperatur wird einerseits durch die Wärmekapazitäten des Frittierbads und andererseits der Pommes Frites bestimmt. Die Wärmekapazität der Pommes Frites setzen sich bei der Zugabe aus den Bestandteilen Wassereis und Trockensubstanz zusammen. Die im Frittieröl gespeicherte Wärmeenergie bewirkt nun das Erwärmen der in tiefgekühlten Pommes Frites enthaltenen Trockensubstanz (Q_{TS}) und des Wassereises (Q_W) von einer Ausgangstemperatur von -18 °C auf eine mittlere Temperatur von etwa 80 bis 90 °C. Anschließend findet durch weitere Zufuhr des Energiebetrags Q_V die Verdampfung von Wasser statt (36 ± 2 % der Frittiermenge).

Der theoretische Energieverbrauch Q_{ges} setzt sich folglich aus diesen drei Beträgen zusammen:

$$Q_{ges} = Q_{TS} + Q_{H_2O} + Q_V \quad (1)$$

Dabei setzt sich die Wärmeenergie Q_{H_2O} aus den Vorgängen Erwärmung von Eis von -18 °C auf 0 °C (Q_{Eis}), Schmelzen des Eises bei 0 °C zu flüssigem Wasser (Energiebetrag Q_S für den Phasenübergang) und weitere Erwärmung des Wassers (Q_W) zusammen.

$$Q_{H_2O} = Q_{Eis} + Q_S + Q_W \quad (2)$$

Der theoretische Energieverbrauch für den gesamten Frittierzyklus $E_{3,theor.}$ kann nun näherungsweise berechnet werden, wenn der anteilige Energieverbrauch zum Warmhalten für die Frittierdauer t_4 addiert wird:

$$E_{3,theor.} = Q_{ges} + \frac{E_2}{2h} \cdot t_4 \quad (3)$$

Bei den Messungen zum „Frittierzyklus mit 180 °C “ im Rahmen von Teilprojekt 2 ergibt sich ein Messwert für E_3 von $1,157\text{ kWh}$ (Mittelwert aus 3 Messungen), während der berechnete Wert $E_{3,theor.}$ bei $1,103\text{ kWh}$ liegt, also nur um $4,7\%$ darunter liegt.

Folglich bestünde also die Möglichkeit, auf Ersatzstoffe vollständig zu verzichten und den Energieverbrauch pro kg Pommes Frites allein aus Messungen des Energiebedarfs E_1 zum Erwärmen und Warmhalten des Frittierbads und Vorversuchen zur Frittiermenge und Frittierzeit näherungsweise zu berechnen.

Zudem kann die zulässige Frittiermenge theoretisch aus dem Wärmeaustausch bei der Zugabe der bei -18 °C tiefgekühlten Pommes Frites in das 180 °C heiße Ölbad abgeschätzt werden. Geht man von einer mittleren Temperatur der Pommes Frites von 80 bis 90 °C beim Frittieren aus, kann die maximale Chargengröße abhängig von der Ölmenge ermittelt werden.

Ausblick

Wie Tab. 2 zeigt, sind mögliche poröse Werkstoffe zum einen Hipor und Porenbeton, die Nachteile sind jedoch die hohe Trockenmasse und Ölaufnahme im Vergleich zu Pommes Frites und deren einmalige Verwendbarkeit. So sind nach Abschätzungen in Teilprojekt 2 Trockenmassen von 704 g Hipor und 969 g Porenbeton erforderlich, um eine vergleichbare Wassermenge wie beim Frittieren von Pommes in einer Zeit von $4,5\text{ min}$ zu erreichen. Nach dem Tränken mit Wasser ergeben sich dann jedoch Massen von insgesamt 1.468 g beim Hipor- und 1.821 g bei Porenbeton-Würfeln, die bei der Zugabe in das Ölbad zu einem Absinken der Öltemperatur deutlich unter die in der Norm geforderte Grenze von 145 °C führen (siehe Abschnitt 8.1 der Norm).

Ebenso wäre der Einsatz von synthetisch hergestellten Stäbchen aus Kartoffelflocken, Stärke und Wasser denkbar, wobei ein definierter Wassergehalt eingestellt werden kann. Jedoch ist zum einen das Handling im Vergleich zu Pommes Frites ungünstiger, zum anderen werden mit den verwendeten Kartoffelflocken ebenfalls Lebensmittel mit natürlichen Schwankungen eingesetzt. Die beiden untersuchten Varianten der Verdampferkonstrukte 1 und 2 zeigen, dass auch dieser Weg ebenfalls grundsätzlich gangbar ist, jedoch störende Eigenschaften wie Wärmeabfuhr aus dem Frittierbad, zusätzlicher Energiebedarf zum Erwärmen der eingetauchten Gefäße, die stabil genug sein müssen, dabei auftreten und der austretende Wasserdampf abgeführt werden muss.

Möglicherweise ist daher der im Abschnitt „Berechnung des Energieverbrauchs“ beschriebene Weg, den Energieverbrauch zum Erwärmen von Pommes Frites und Verdampfen von Wasser nach der Bestimmung der Chargengröße zu berechnen und daraus mit den Messungen zum Erwärmen und Warmhalten der leeren Fritteuse den Energieverbrauch zum Frittieren zu berechnen, in der Praxis am einfachsten umsetzbar und kann eine Basis zum Vergleich der Energieeffizienz von Fritteusen liefern. Um dies zu verifizieren, sind jedoch Messungen für unterschiedliche Ausführungen von Fritteusen erforderlich, auch ist zu klären, ob dieses Konzept auf andere Gerätetypen (wie z. B. multifunktionale Gargeräte mit indirekter Beheizung und Temperaturmessung) anwendbar ist.

Literaturverzeichnis

- Alvis A, Vélez C, Rada-Mendoza M et al. (2009): Heat transfer coefficient during deep-fat frying. *Food Control*. 20 (4): 321-325. doi: 10.1016/j.foodcont.2008.05.016.
- BMEL (2021). Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung. <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/lebensmittelverschwendung/strategie-lebensmittelverschwendung.html> (Letzter Aufruf am 31.07.2021).
- Deutsche Norm DIN 18873-1:2012-12 Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 1: Heißluftdämpfer, Beuth-Verlag, Dezember 2012.
- Deutsche Norm DIN 18873-3:2018-02 Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 3: Fritteusen, Beuth-Verlag, Februar 2018.
- Deutsche Norm DIN EN 60350-1:2018-04 Elektrische Kochgeräte für den Hausgebrauch - Teil 1: Herde, Backöfen, Dampfgarer und Grills - Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften, Beuth-Verlag, April 2018.
- Gertz C, Matthäus B (2012): Optimal Frittieren. Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaft. Frankfurt Main. http://www.dgfett.de/material/frittierempfehlungen_dgf.pdf (zuletzt abgerufen am 05. 12. 2021).
- HKI - Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e. V. (2021). HKI CERT Datenbank. <https://www.grosskuechen.cert.hki-online.de/de/geraete-nach-typ> (zuletzt abgerufen am 31.07.2021).
- Knospe B, Walleser L (2006): Praxis-Fibel Frittierölmessung. 1. Aufl. Lenzkirch: Testo AG.

Autorinnen und Autoren

Stefanie König MSc (Food Science) und Prof. Dr. Jörg Andreä (Korrespondenzautor), HAW Hamburg, Fakultät Life Science, Department Ökotrophologie, Ulmenliet 20, 21033 Hamburg

Kontakt: joerg.andreae@haw-hamburg.de



J. Andreä (© F. Mühleib)

Interessenkonflikt

Die an der HAW Hamburg durchgeführten Abschlussarbeiten wurden durch die Mitglieder des Fachverbandes Großkücheneinrichtungen im HKI Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e. V. unterstützt. Die untersuchte Fritteuse wurde freundlicherweise vom HKI Mitglied MKN Maschinenfabrik Kurt Neubauer GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt.

Zitation

König S & Andreä J (2023): Neutrale Prüfmedien in Zusammenhang mit DIN 18873-3 Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 3: Fritteusen. Hauswirtschaft und Wissenschaft (71) 2023, ISSN online 2626-0913. <https://haushalt-wissenschaft.de> doi: 10.23782/HUW_07_2023