

# Neue Einsatzmöglichkeiten von Lipasen als clean label Backmittel in feinen Backwaren

Charlotte D. Stemler<sup>1</sup>, Judith M. Wiebler<sup>1</sup> und Katharina A. Scherf<sup>1,2,3</sup>

Bereits seit mehr als 100 Jahren werden synthetische Emulgatoren zur Verbesserung der Backqualität von Backwaren eingesetzt. Emulgatoren bestehen aus fett- und wasserlöslichen Teilen und tragen in Teigen und Massen dazu bei, dass die Fett-, Gas- und Wasserphasen besser mischbar sind und stabilisiert werden. Sie helfen beispielsweise dabei, mehr Gas in Brotteigen zu halten, was zu einer luftigeren Krume und größeren Brotvolumina führt. Zusätzlich interagieren sie auch mit der Stärke im Teig und verzögern das Altbackenwerden. Wegen dieser Wirkung werden sie auch als „Weichmacher“ bezeichnet. In den letzten Jahrzehnten ging der Einsatz von synthetischen Emulgatoren zurück. Gründe dafür sind die hohen Kosten für Herstellung und Lagerung, sowie der Wunsch der Konsumierenden nach *clean label* Produkten. *Clean label* bedeutet, dass keine Zusatzstoffe („E-Nummern“) auf der Produktdeklaration zu finden sind. Für Brot haben sich Lipasen als Ersatz für synthetische Emulgatoren seit 1990 etabliert. Lipasen sind Enzyme, also Proteine mit katalytischer Wirkung. Sie führen dazu, dass broteigene Inhaltsstoffe miteinander reagieren. Konkret katalysieren sie die Spaltung von Fettmolekülen (Lipiden) und setzen dabei einzelne Fettsäuren frei. Der Rest des ursprünglich unpolaren (fettlöslichen) Lipidmoleküls hat dann an der ehemaligen Bindungsstelle zur Fettsäure einen polaren (wasserlöslichen) Teil. Somit werden broteigene Lipide in Moleküle mit emulgierenden Eigenschaften umgewandelt. Die Effekte auf die Backqualität von Brot durch diese modifizierten Lipide

entsprechen oder übersteigen sogar die von zugesetzten, synthetischen Emulgatoren. Durch die Erhitzung während des Backens werden Lipasen inaktiviert. Sie haben im Endprodukt keine technologische Funktion mehr und gelten rechtlich gesehen als Verarbeitungshilfsstoffe (VO (EG) Nr. 1333/2009). Laut aktueller Rechtslage müssen Lipasen in Backwaren deshalb auch nicht im Zutatenverzeichnis angegeben werden und sind somit *clean label*.

Für den Einsatz von Lipasen in feinen Backwaren gibt es bisher nur wenige Studien und Anwendungen. Das ist auf zwei große Herausforderungen zurückzuführen:

1. Im Gegensatz zu Brot wird bei der Herstellung von feinen Backwaren wie Kuchen meist Fett, z.B. Butter, zugesetzt. Wenn Lipasen die Spaltung von buttereigenen Lipiden katalysieren, wird dabei die Fettsäure Buttersäure freigesetzt. Buttersäure ist ein kleines Molekül und flüchtig. Sie riecht in geringen Konzentrationen angenehm buttrig, in größeren Mengen jedoch schnell ranzig und nach Erbrochenem. Das entstehende Fehleroma verhindert damit einen Einsatz von Lipasen in feinen Backwaren.
2. In Brot stammen die Lipide, die gespalten werden, vor allem aus dem Weizenmehl (das enthält immerhin etwa 2% Fett). In feinen Backwaren werden durch Butter und auch Eier weitere Lipide für die Reaktion zur Verfügung gestellt. Diese Lipide sind anders aufgebaut und beinhalten z.B. andere fettlösliche Gruppen. Damit entstehen neue Reaktionsprodukte, deren Wirkung auf die Backqualität noch nicht bekannt ist. Demnach ist nicht gesichert, ob Lipasen überhaupt geeignet sind, die Backqualität von feinen Backwaren wie Kuchen zu verbessern, oder ob die neuen Reaktionsprodukte vielleicht sogar negative Auswirkungen auf die Backqualität haben könnten.

Beide Problemstellungen wurden im Rahmen eines durch die IGF geförderten Projektes (AiF 20771 N, Backlipasen in Feinen Backwaren) ausführlich untersucht.

**Können Lipasen identifiziert werden, die selektiv keine kurzkettigen Fettsäuren freisetzen und damit keine ranzigen Fehleraromen verursachen?**

Zur Vermeidung von Fehleraromen durch die Freisetzung von Buttersäure und anderen kurzkettigen Fettsäuren werden Lipasen benötigt, die selektiv die Abspaltung dieser Fettsäuren nicht fördern. Dazu kann die sogenannte Fettsäuresubstratspezifität von Lipasen genutzt werden. Lipasen unterscheiden sich hinsichtlich der spezifischen Reaktionen, die sie auslösen. Bei der Vielzahl an unterschiedlichen Fettsäuren in Lipiden gibt es Lipasen, die spezifisch nur bestimmte Fettsäuren abspalten können. Das erste Ziel war also, Lipasen zu finden, die eine passende Fettsäuresubstratspezifität haben und selektiv nicht mit kurzkettigen Fettsäuren wie Buttersäure interagieren. In die Untersuchungen aufgenommen wurden zunächst 17 Lipasen, die bereits in Brot eingesetzt werden. Die Lipasen wurden mit Buchstaben von A bis Q codiert und über einen spezifischen Assay charakterisiert. Dabei wurde gemessen, wie schnell sie zur Abspaltung unterschiedlich langer Fettsäuren führen. Aus dem Assay ergaben sich unterschiedliche Spezifitätsmuster für die 17 Lipasen. Nur 7 davon waren laut Assay reaktiv gegenüber Buttersäure. Von den verbleibenden 10 Lipasen wurden wiederum 7 für Backversuche ausgewählt. Neben der Fettsäuresubstratspezifität wurde auch berücksichtigt, Präparate verschiedener Hersteller mit in die Untersuchungen einzubeziehen.

Um die Ergebnisse abzusichern, wurden sensorische Tests an drei verschiedenen Kuchenrezepturen durchgeführt, die mit Lipasen zubereitet worden waren. Die Rezep-

<sup>1</sup> Abteilung für Bioaktive und Funktionelle Lebensmittelinhaltsstoffe, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

<sup>2</sup> Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München

<sup>3</sup> Technische Universität München, TUM School of Life Sciences, Professur für Food Biopolymer Systems

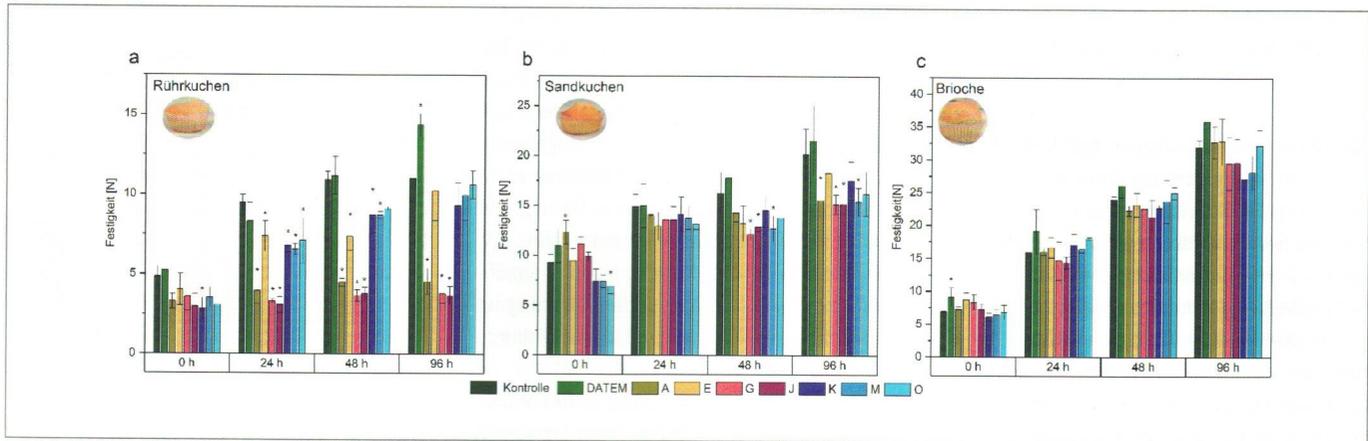


Abb. 1: Festigkeit von Rührkuchen (a), Sandkuchen (b) und Brioche (c) nach dem Abkühlen (0 h) sowie nach 24 h, 48 h und 72 h Lagerung. Das Probenet beinhaltet eine unbehandelte Kontrollprobe, eine Probe, die mit DATEM versetzt wurde (DATEM), sowie Proben, die mit den Lipasen A-O behandelt wurden. Sternchen zeigen einen signifikanten Unterschied zur Kontrollprobe der jeweiligen Zeit (ANOVA mit Dunnett's Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 6$ ). Abbildung modifiziert aus Stemler&Scherf, FoodChemX, 2022.

turen beinhalteten einen einfachen Rührkuchen ohne Ei, einen klassischen Sandkuchen mit Ei und eine hefebasierte Brioche. Für die Tests untersuchte ein Panel die Kuchen mittels 3 *Alternative Forced Choice Test*. Das bedeutet, dass sie aus einer Reihe von 3 Kuchen (2 Kontrollen und eine Lipasen-Probe) den Kuchen identifizieren mussten, der sich hinsichtlich seines Aromas von den anderen Kuchen unterschied. Wenn sie keinen Unterschied feststellen konnten, mussten sie sich dennoch für eine Probe entscheiden. Die Ergebnisse für die 3 Lipasen E, J und K sind exemplarisch in Tabelle 1 aufgeführt. Die Panelmitglieder gaben jeweils auch an, woran sie die abweichende Probe erkannt hatten. Ein signifikanter Unterschied von Lipasen-Probe zur Kontrolle ergab sich nur in der Kombination von Lipase J mit Rührkuchen. Allerdings wurde dieser Unterschied von den meisten Panelisten als buttrig und nach Ei beschrieben; nur etwa 1/3 der Mitglieder erkannten ein ranziges Aroma. Die meisten

Lipasen-Kuchen-Kombinationen führten demnach zu keinem Fehleraroma und nur in einem Fall erkannte ein geringer Anteil der Panel-Mitglieder ein ranziges Aroma. Basierend auf diesem Ergebnis wurde dann die Backqualität der Rezepturen mit und ohne Zusatz von Lipasen untersucht.

### Sind Lipasen überhaupt dazu geeignet, die Backqualität von feinen Backwaren wie Kuchen zu verbessern?

Zur Beurteilung der Backqualität von feinen Backwaren können verschiedene Tests durchgeführt werden. Zunächst können die Eigenschaften der Massen und Teige, z.B. Klebrigkeit und Dichte, bestimmt werden. Zusätzlich werden die fertigen Backwaren untersucht. Dabei werden beispielsweise das spezifische Volumen, der Backverlust und die Textur analysiert. Die Textur umfasst verschiedene Parameter wie Festigkeit, Kohäsion, Resilienz, Elastizität, Gummiartigkeit

und Kaubarkeit. Sie werden über einen Kompressionstest bestimmt, der den Kauvorgang im Mund simuliert: eine Kuchenscheibe wird von einem Stempel eingedrückt, kann in die ursprüngliche Form zurückkehren und wird an derselben Stelle nochmals eingedrückt. Dabei wird die Kraft, die der Stempel aufwenden muss, aufgezeichnet und aus der Kraft-Zeit-Kurve werden die Parameter berechnet.

Die Untersuchungen zeigten, dass die Lipasen die Backqualität der drei Kuchenrezepturen positiv beeinflussten. Die Dichte der Massen wurde verringert, was für mehr Luft in den Massen spricht. Zusätzlich waren die Massen weniger klebrig. Der Backverlust wurde nicht beeinflusst und auch das spezifische Volumen der fertigen Backwaren blieb unverändert. Den größten Einfluss hatten die Lipasen auf die Textur der Kuchen. Insbesondere während der Lagerung der Proben verzögerten die Lipasen das Altbackwerden (Abbildung 1). Dabei waren deutliche Unterschiede zwischen den Lipasen und zwischen den Rezepturen erkennbar. In ihrer Funktion waren die Lipasen dabei deutlich effektiver als der herkömmliche, synthetische Emulgator DATEM (Monoacetyl- und Diacetylweinsäureester von Mono- und Diglyceriden von Speisefettsäuren, E 472e) Selbst nach 96 h Lagerungszeit waren die Rührkuchenproben, die mit den Lipasen A, G und J versetzt waren, noch weicher als die Kontrolle direkt nach dem Backen. Auch in Sandkuchen waren die Lipasen A, G und J am aktivsten. Hier verringerten sie die Zunahme der Festigkeit während der Lagerung von 117% (Kontrolle) auf nur 27% (Lipase A), 36% (Lipase G) bzw. 54% (Lipase J). In Brioche hingegen waren kaum Effekte erkennbar.

Tabelle 1: Ergebnisse des 3 Alternative Forced Choice Tests von Kuchenrezepturen, die mit den Lipasen E, J und K zubereitet wurden. Dargestellt wird der Prozentsatz an Panelmitgliedern, die die Lipasen-behandelte Probe von unbehandelten Kontrollproben unterscheiden konnten, sowie die Beschreibung des abweichenden Aromas.

Rezeptur	Lipase	Korrekt identifiziert von	Beschreibung des Aromas
Rührkuchen	E	23,5%	intensiver
	J	82,4%	buttrig, nach Ei, ranzig (35,3%)
	K	29,4%	intensiver
Sandkuchen	E	25,0%	anders
	J	43,8%	buttrig
	K	18,8%	süß
Brioche	E	14,3%	alt
	J	50,0%	sauer
	K	21,4%	buttrig

### Wieso wirken Lipasen unterschiedlich stark in verschiedenen Kuchenrezepturen?

Die Unterschiede zwischen den Rezepturen sind zum Teil durch die Zutaten erklärbar. Während der Rührkuchen kein Ei enthielt, besteht Sandkuchen zu gleichen Teilen aus Mehl, Zucker, Butter und Eiern. Eier beinhalten große Mengen Lecithine, also bestimmte Lipide, die bereits emulgierend wirken. Viele der Funktionen, die durch Lipasen gebildete neue Lipide ausüben könnten, werden bereits von den Lecithinen übernommen. Unterschiedliche Wirksamkeiten der Lipasen zwischen den Rezepturen können also auf weitere emulgierende Bestandteile der Rezepturen zurückgeführt werden.

Brioche ist hefebasiert. Die Lipasen-Hersteller empfehlen dafür eine um 70 % geringere Menge an Lipasen im Vergleich zu Rühr- und Sandkuchen, die gleichzeitig mit der Hefe zum Vorteig zugegeben wurde. Damit unterscheidet sich die Zubereitung von Brioche mit Lipasen in zwei Punkten (Zugabezeitpunkt und Dosierung) von der Zubereitung von Rührkuchen und Sandkuchen mit Lipasen. Ob einer (oder beide) der Punkte entscheidend für die Wirkung sind, wurde systematisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zugabezeit keinen Einfluss hat, wohingegen die Konzentration entscheidend ist (Abbildung 2). Am Beispiel der Resilienz (des inneren Widerstands der Struktur beim Kauen) ist erkennbar, dass in der ursprünglichen

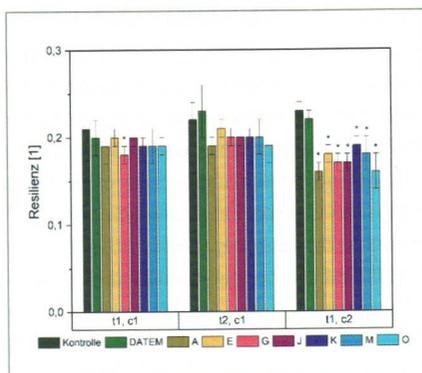


Abb. 2: Resilienz von Brioche, bei der Zusätze zum Vorteig (t1) und in vom Hersteller empfohlener Konzentration (c1) zugegeben wurden, sowie die Variation der Zugabe zum fertigen Teig (t2) und in erhöhter Konzentration (c2). Das Probenet beinhaltet eine unbehandelte Kontrollprobe, eine Probe, die mit DATEM versetzt wurde (DATEM), sowie Proben, die mit den Lipasen A-O behandelt wurden. Sternchen zeigen einen signifikanten Unterschied zur Kontrollprobe der jeweiligen Modifikation (ANOVA mit Dunnett's Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 6$ ).  
Abbildung modifiziert aus Masterarbeit J. Wießler, 2023.

Kombination (Zeitpunkt t1 und Konzentration c1) kaum Änderungen durch Lipasen in Brioche ausgelöst werden. Wird die Lipase in der ursprünglichen Konzentration nicht zum Vorteig, sondern zum finalen Teig hinzugegeben (t2, c1), wird die Resilienz ebenfalls nicht beeinflusst. Bei der Zugabe zum Vorteig und einer höheren Konzentration jedoch (t1, c2), wird die Resilienz durch alle Lipasen signifikant verringert. Die passende Dosierung ist somit ebenfalls entscheidend für die Wirkung.

### Wieso gibt es Unterschiede in der Wirksamkeit der unterschiedlichen Lipasen?

Die Unterschiede zwischen den Lipasen wurden im Rahmen des Projekts ausführlich untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass zwei Aspekte zu berücksichtigen sind:

1. Wie aktiv ist die Lipase insgesamt, also wie viele Lipide setzt sie um?
2. Mit welchen Lipiden reagiert sie bevorzugt?

Lipasen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Aktivität. Obwohl alle Lipasen einen sehr ähnlichen Aufbau haben, sind sie nicht exakt passend zu Ausgangsstoffen der Reaktion. Winzige Unterschiede innerhalb der Lipasen können ihre Aktivität deutlich erhöhen oder vermindern, weil ihre katalytische Wirkung auch davon abhängig ist, wie einfach sie die Ausgangsstoffe binden kann. Die Bestimmung der Aktivität einer Lipase in einer Kuchenrezeptur ist eine Herausforderung. Es existieren eine Vielzahl an chemischen Assays, mit denen Lipasen unter einfachen Laborbedingungen analysiert werden können. Leider sind die Ergebnisse dieser Assays aber keine Vorhersage dafür, wie sie sich in einer komplexen Umgebung wie Kuchenteig verhalten wird. Stattdessen kann die Aktivität in Kuchenteig über einen Umweg bestimmt werden: Es werden Kuchenteige mit und ohne Lipasen zubereitet. In beiden werden die Lipide extrahiert und quantifiziert. Dann wird die Zusammensetzung beider Proben verglichen. Der Unterschied in der Zusammensetzung entspricht der Menge an Lipiden, die die Lipasen umgesetzt haben und ist damit ein Maß für ihre Aktivität.

Beispielhaft zeigt Abbildung 3 die Unterschiede in der Lipidzusammensetzung von Rührkuchen nach Zusatz von Lipasen. Es ist deutlich erkennbar, dass die Lipasen A, G und J, die auch die größten Auswirkungen auf die Backqualität hatten, die größten Mengen

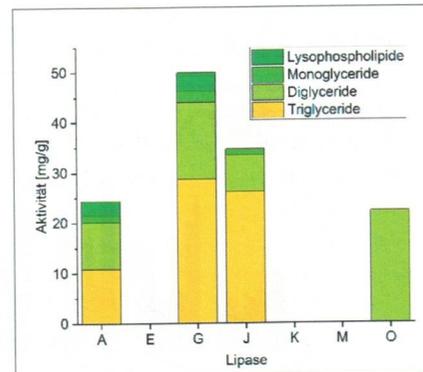


Abb. 3: Aktivität der Lipasen A-O in Rührkuchen, angegeben als Umsatz einzelner Lipidklassen in mg/g. Für die Auswertung wurden nur signifikante Unterschiede zwischen unbehandelte Kontrollprobe und Proben, die mit Lipasen behandelt wurden, berücksichtigt (ANOVA mit Dunnett's Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 3$ ).

an Lipiden umgesetzt haben. Neben A, G und J hat jedoch auch Lipase O eine hohe Aktivität, die aber nicht zu einer Verbesserung der Backqualität geführt hat. Neben der Quantität ist auch die „Qualität“ der Veränderung von Bedeutung: die unpolare Teile der Lipide sind unterschiedlich effektiv darin, die Backqualität zu verbessern. Abhängig von ihrem Aufbau können sie sich besonders gut an Oberflächen anordnen oder z.B. mit Stärke interagieren. Ähnlich wie bei der Spezifität für Fettsäuren sind Lipasen auch spezifisch gegenüber diesen unpolaren Teilen. Weil die ehemalige Bindungsstelle der Fettsäure chemisch gesehen ein Alkoholrest ist, wird diese Spezifität auch Alkoholsubstratspezifität genannt. Eine Lipase braucht demnach neben einer hohen Aktivität auch eine passende Alkoholsubstratspezifität, damit sie die Backqualität von feinen Backwaren verbessern kann.

Welche Lipide nun umgesetzt werden müssen, damit eine Wirkung auf die Backqualität stattfinden kann, ist abhängig von der Rezeptur. Interessanterweise sind es in Rührkuchen die gleichen Lipidklassen, die auch für Brot als besonders effektiv identifiziert wurden, die umgesetzt werden müssen: Glycolipide, also Lipide mit Zuckerresten, sind hier entscheidend. In Sandkuchen hingegen wird eine Alkoholsubstratspezifität gegenüber Phospholipiden, Lipiden mit Phosphat-Gruppen, benötigt.

### Welche Voraussetzungen gibt es also für die Nutzung von Lipasen in feinen Backwaren?

Lipasen sind dazu geeignet, die Backqualität von feinen Backwaren, wie Kuchen, zu ver-

bessern. Damit die Nutzung gelingt, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

1. Die Lipase braucht eine passende Fettsäuresubstratspezifität, denn sie darf keine Buttersäure freisetzen und damit auch keine Fehlgerüche verursachen
2. Die Lipase muss ausreichend aktiv in Kuchenteigen sein; gegebenenfalls muss die Konzentration angepasst werden
3. Die Lipase braucht eine passende Alkoholsubstratspezifität, damit sie genau die Lipide umsetzt, die für die Verbesserung der Backqualität der jeweiligen Rezeptur benötigt werden.

Solange diese Voraussetzungen erfüllt werden können, übersteigt die Wirkung von Lipasen sogar die von herkömmlichen Emulgatoren.

### Welche weiteren Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich für Lipasen in feinen Backwaren?

Neben der Verbesserung der Backqualität von feinen Backwaren können Lipasen auch genutzt werden, um eine größere Flexibilität bei der Herstellung zu erreichen. Möglich ist ein Einsatz zum Beispiel für eine Gärunterbrechung bei Brioche. Dabei werden Teiglinge vor der Gare eingefroren und können bedarfsgerecht fertiggebacken werden. Durch die Gärunterbrechung steigen in unbehandelten Proben Resilienz und Kohäsion der fertigen Produkte an. Das bedeutet, sie haben einen höheren inneren Widerstand und sind schwieriger kaubar. Wenn Lipasen eingesetzt werden, ändert sich die innere Struktur

der Kuchen. Resilienz und Kohäsion sinken nach dem Einfrieren, anstatt zu steigen. Damit ist auch nach einer Lagerung der gefrorenen Teiglinge die Backqualität im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ohne Gärunterbrechung noch verbessert.

Ein weiteres Beispiel für eine größere Flexibilität durch den Einsatz von Lipasen ist die Variation von Zutatenmengen. Unsere Untersuchungen zeigten, dass sowohl der Gehalt an Wasser als auch der Gehalt an Fett in Rührkuchen um bis zu 25 % (Wasser) oder sogar 50 % (Fett) reduziert werden kann, wenn Lipasen genutzt werden! Abbildung 4 zeigt dazu unsere Untersuchungen zur Textur von Rührkuchen, wobei in der Rezeptur der Fettgehalt auf 95 %, 90 %, 75 % und 50 % der ursprünglichen Menge (a) und der Wassergehalt auf 95 %, 90 % und 75 % der ursprünglichen Menge (b) reduziert wurde. Bei einer niedrigeren Wassermenge war es nicht mehr möglich, eine homogene Rührmasse herzustellen.

Wenn der Buttergehalt reduziert wird, werden unbehandelte Rührkuchenproben härter. Die Festigkeit der Kontrollprobe stieg im Beispiel um rund 40 % an, wenn nur die Hälfte der ursprünglichen Buttermenge eingesetzt wurde. Unter Zusatz von Lipasen sind selbst bei dieser Reduktionsstufe keine signifikanten Änderungen im Vergleich zur Backqualität der ursprünglichen Rezeptur zu erkennen. Passend zu den vorherigen Ergebnissen waren auch hier die Lipasen A, G und J, die nachgewiesenermaßen eine hohe Aktivität und passenden Spezifitäten aufwiesen, besonders

erfolgreich. Ebenfalls wie vorher beschrieben zeigten sich die Lipasen auch bei dieser Anwendung als deutlich erfolgversprechender als der herkömmliche Emulgator DATEM.

Bei einer Verringerung des Wassergehalts steigt die Festigkeit unbehaltener Rührkuchenproben an. Bei nur 25 % weniger Wasser in der Rezeptur sind Rührkuchen bereits um 49 % härter. Wenn Lipasen verwendet werden, kann dieser Effekt abgeschwächt oder sogar ganz verhindert werden. Bei den Lipasen A und J wurden in den Proben mit 75 % des ursprünglichen Wassergehalts keine signifikanten Änderungen in Bezug auf die Festigkeit der unbehalteten Kontrollprobe mit 100 % Wasser festgestellt. Lipase G minderte den Anstieg der Festigkeit auf etwa 30 % ab. Damit zeigen Lipasen auch deutliches Potential für die Aufrechterhaltung der Produktqualität, wenn flüssige Bestandteile einer Rezeptur, zum Beispiel zur einfacheren Verarbeitung, reduziert werden sollen.

### Also Friede, Freude, Lipasenkuchen?

Die Ergebnisse des FEI-Projekts zeigen, dass Lipasen als Backmittel in feinen Backwaren Zukunft haben. Als *clean label* Zutaten helfen sie, die Backqualität von Kuchen zu steigern und ermöglichen eine individuellere Anpassung der Zusammensetzung von Kuchenrezepturen. Besonders in Verbindung mit der Reduktion von Fett tragen sie außerdem zur nationalen Ernährungsstrategie bei. Die Selektion passender Lipasen mit den entsprechenden Substratspezifitäten ist jedoch von kleinen und mittelständischen Unternehmen ohne eigene Analytik nicht zu leisten. Hier müssen die Hersteller klare Einsatzempfehlungen für ihre jeweiligen Präparate aussprechen. Einfacher wird es, wenn Lipasen als Ei-Ersatz in veganen Rezepturen ohne Butter eingesetzt werden – dort spielt die Fettsäuresubstratspezifität keine Rolle.

### Förderhinweis

Dieses IGF-Vorhaben Nr. AiF 20771 N der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

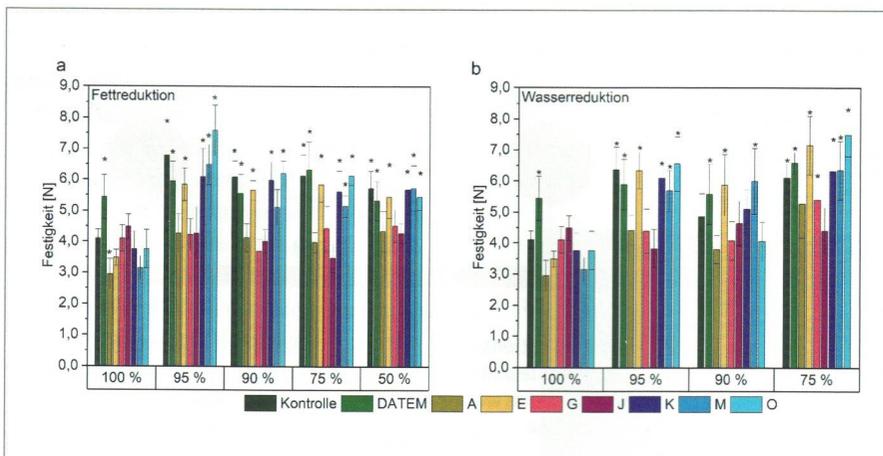


Abb. 4: Festigkeit von Rührkuchen bei Reduktion der ursprünglichen Buttermenge (a) (100 %) auf 95 %, 90 %, 75 % und 50 %, bzw. der ursprünglichen Wassermenge (b) (100 %) auf 95 %, 90 % und 75 % und Behandlung mit den Lipasen A, E, G, J, K, M und O oder dem Emulgator DATEM (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung,  $n=6$ ). Sterne zeigen einen signifikanten Unterschied zur Kontrollprobe bei 100 % Buttermenge bzw. 100 % Wassermenge (Dunnetts t-Test,  $p \leq 0,05$ ). Abbildung modifiziert aus Stemler, Wießler & Scherf, Brot & Backwaren, 2024.