



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Schlussbericht zum Thema

02. Mai 2024

Fermentationsunterstützte Wertsteigerung von Nebenprodukten der Ölsaaten- und Milchverarbeitung

FKZ: 2819OE149

Projektnehmer/Projektnehmerin: Technische Universität Dresden

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische Landwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in die Praxis umgesetzt. Das Programm gliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder - das Forschungs- und das Informationsmanagement.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter:

www.bundesprogramm.de
www.oekolandbau.de/forschung

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel.: 0228-6845-3280
E-Mail: boel-forschung@ble.de

Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BLE-Programm
ERA-Net SUSFOOD2 & CORE Organic: FERBLEND - Fermentationsunterstützte Wertsteigerung von
Nebenprodukten der Ölsaaten- und Milchverarbeitung.

Förderkennzeichen:

2819OE149

Zuwendungsempfänger:

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Ausführende Stelle:

Technische Universität Dresden - Fakultät Maschinenwesen – Institut für Naturstofftechnik –
Professur für Lebensmitteltechnik, 01062 Dresden

Projektleitung:

Herr Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. habil. Harald Rohm

Kontakt: harald.rohm@tu-dresden.de

Projektlaufzeit:

01.10.2020 bis 31.03.2024

Beteiligte Kooperationspartner:

Università degli Studi di Milano

Aarhus University

Wroclaw University of Environmental and Life Sciences

Istanbul S. Zaim University (not funded)

Universitat Politècnica de València (not funded)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Inhalt

Kurzfassung	3
Abstract	4
1 Einführung	5
1.1 Gegenstand des Vorhabens	5
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN	5
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	6
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	7
3 Material und Methoden	9
4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	13
5 Diskussion der Ergebnisse	20
6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse	20
7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	21
8 Zusammenfassung	22
9 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt	23

Kurzfassung

Fermentationsunterstützte Wertsteigerung von Nebenprodukten der Ölsaaten- und Milchverarbeitung

Autoren: Sophie Morejón Caraballo, Susanne Struck, Harald Rohm

Kontakt Daten: Professur für Lebensmitteltechnik, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Aspekte der Nachhaltigkeit, die besonders die Vermeidung von Produktionsverlusten und innovative Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz einschließen, sind nunmehr auch in der Lebensmittelproduktion von übergeordnetem Interesse. Das Projekt hatte zum Ziel, Mischungen von Presskuchen aus der Pflanzenölherstellung mit bei der Käseherstellung anfallender Molke durch Fermentation in ihrem Wert zu steigern und eine Produktplattform mit entsprechenden technologischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften zu generieren. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen, die vielfach auch nach biologisch-organischen Kriterien produzierte Rohstoffe verarbeiten, stehen hier vor besonderen Herausforderungen. Die kombinierte Verwertung der Nebenprodukte stärkt die Kreislaufwirtschaft, und die im Projekt erarbeiteten Strategien können nach weiterführender Produktentwicklung durch verschiedene Akteure der Lebensmittelbranche genutzt werden. Vor- und Nachbehandlungen der Rohstoffe bzw. der fermentierten Mischungen verbessern die Fermentierbarkeit bzw. gewährleisten sowohl die sensorische Produktqualität wie auch die Produktsicherheit. Die Verfahren und Prozesse sind so gewählt, dass Energieverbrauch und CO₂-Emissionen reduziert und damit klimafreundliche Plattformprodukte generiert werden.

Die Fermentation der kombinierten Nebenprodukte ist der Schlüssel zur Herstellung adäquater und sicherer Produkte. Die Nachbehandlung der fermentierten Systeme liefert Plattformprodukte, die in Lebensmitteln wie beispielsweise Erfrischungsgetränken, Aufstrichen sowie Snacks eingesetzt werden können. Daraus ergibt sich ein signifikanter Erkenntnisgewinn in Bezug auf die Fermentation der kombinierten Stoffsysteme und deren Verwendung in Lebensmitteln.

Das Projekt vereint die Kompetenzen von 4 Partnern aus Dänemark, Deutschland, Italien und Polen, und von 2 assoziierten Partnern aus Spanien und der Türkei. Neun NGOs und 15 Betriebe aus 5 EU Ländern sind die ersten Adressaten für die Umsetzung der Ergebnisse.

Abstract

Fermentation-induced valorization of side stream blends from oilseed and dairy industry

Authors: Sophie Morejón Caraballo, Susanne Struck, Harald Rohm

Contact: Chair of Food Engineering, Faculty of Mechanical Science and Engineering, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Sustainable production which, among others, addresses waste reduction and the exploration of innovative ways to increase resource efficiency is one of the major challenges of the food chain. This project addresses the valorization of two side streams, namely press cakes from organic oilseed processing and whey from cheese production, through fermentation, to create platform products with improved technological and nutritional functionality. Especially small and medium sized organic seed oil producers and dairy companies are challenged by an adequate handling and meaningful utilization of their side streams. By combining the aforementioned side streams, process circularity will be strengthened, and the strategies developed in this project can be exploited by different actors in the food supply chain. Pre- and posttreatment procedures of raw materials and the fermented blends will increase fermentability and ensure sensory quality and food safety. Processing methodologies thereby will pay attention to the reduction of energy consumption and carbon dioxide emissions, aiming at creating more climate friendly food platforms.

Fermentation of the combined side streams is the key step to obtain safe and adequate products through microbial activity. Subsequent to adequate post-treatment, we developed a series of solutions for the obtained platform products, with beverages, semi-solid spreads and snacks being the target model applications. This leads to a substantial increase of knowledge concerning processing and fermentation of blends of oilseed press cakes and whey resulting in tailored food products.

This project brings together the competencies of 4 partners from Denmark, Germany, Italy and Poland, and of 2 institutes from Spain and Turkey who contribute as associated partners. Nine NGOs and 15 companies from 5 EU countries are the primary addresses for implementation of the results.

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Für die Minimierung von Lebensmittelverlusten und zur Verbesserung der Zirkularität sind Systemlösungen erforderlich. Im UN-Nachhaltigkeitsziel 12 "Nachhaltiger Konsum und Produktion" ist die Verringerung von Lebensmittelverlusten entlang der Produktionskette als Unterziel benannt, wozu dieses Projekt einen Beitrag liefert. Zahlreiche große Unternehmen verpflichten sich zunehmend zur Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen, welche Lösungen zur Aufwertung von Nebenprodukten beinhalten. Kleinere Unternehmen brauchen jedoch andere Lösungen. Ziel dieses Projektes war die Verbesserung der Nachhaltigkeit in Ölmühlen, die kaltgepresstes Sonnenblumenöl herstellen und handwerklichen Käseherstellungsbetrieben durch die Entwicklung neuer Lösungen durch Kombination von zwei Nebenprodukten, nämlich Presskuchen und Molke. Durch Fermentation von Mischungen dieser Nebenprodukte sollten unterschiedliche Plattformprodukte für die weitere Nutzung in verschiedenen Lebensmitteln erzeugt werden. Das Projekt sollte dabei das Verständnis für die Fermentation von Ölpresskuchen/Molke-Mischungen fördern und eine Basis für die Entwicklung einzigartiger fermentierter Produkte mit verbesserten technologischen Eigenschaften und Ernährungswert zur Unterstützung der Zirkularität in kleineren und handwerklichen Betrieben bieten.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN

Die gezielte Verwertung von Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie dient nicht nur der Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens, sondern auch der Nachhaltigkeit im Sinne der Abfallvermeidung. Sonnenblumenpresskuchen (SPK) ist ein protein- und ballaststoffreiches Nebenprodukt der Pflanzenölherstellung, die enthaltenen Nährstoffe werden bisher jedoch kaum in Lebensmitteln genutzt, sondern vorwiegend über die Tierfütterung verwertet.

Die Fermentation von Lebensmitteln dient der Veränderung des Geschmacks, der Verbesserung der Haltbarkeit und kann auch gesundheitliche Vorteile mit sich bringen. Weiterhin kann durch Fermentation mit bestimmten Mikroorganismen die Textur und Stabilität von Lebensmitteln beeinflusst werden.

Ziel des Projektes war die Entwicklung fermentierter Plattformprodukte auf Basis von SPK und Molke. Dafür wurden verschiedene SPK analysiert und mit rekonstituierter Süßmolke gemischt, deren Trockensubstanz zu einem großen Anteil aus Laktose besteht. Für die Fermentation der Mischungen wurden Kombinationen aus Hefen und Milchsäurebakterien (MSB) ausgewählt. Durch die Variation des SPK-Gehaltes konnten verschiedene Plattformprodukte – sowohl flüssige Getränke wie auch halb feste Aufstriche – hergestellt werden.

Während der Bearbeitung des Projektes wurden zwei Hauptziele verfolgt:

- Analyse von Zusammensetzung und Eigenschaften von Sonnenblumen-Presskuchen aus KMUs, die das Öl bei unterschiedlichen Bedingungen produzieren, sowie die Entwicklung von Vorbehandlungsmethoden zur Erhöhung des Proteingehaltes und Verbesserung der Eigenschaften.

- Entwicklung und Modifizierung von festen, halbfesten und flüssigen Plattformprodukten aus SPK und Süßmolke sowie deren Fermentation mit Milchsäurebakterien und Hefen.

Um das erste Ziel zu erreichen, wurden SPK verschiedener Ölproduzenten gesammelt, einheitlich vermahlen und deren Zusammensetzung analysiert. Weiterhin wurden Methoden zur Quantifizierung von technofunktionellen Eigenschaften wie Wasserbindevermögen, Stickstofflöslichkeit, Farbe, Partikelgröße, Quellvermögen sowie Schaum- und Emulgiereigenschaften etabliert. Verschiedene Vorbehandlungsschritte dienten der Erhöhung des Proteingehaltes und Verbesserung der technofunktionellen Eigenschaften. Hierbei wurden insbesondere die Entfettung des SPK mittels Lösungsmittelextraktion unter Einsatz von „grünen“ Lösungsmitteln wie Ethanol und Isopropanol sowie die Abtrennung von faserreichen Partikeln mittels Trockenfraktionierung untersucht.

Zum Erreichen des zweiten Ziels wurde mit Presskuchen aus geschälten Sonnenblumenkernen gearbeitet, da dieser eine bessere Nährstoffzusammensetzung und verbesserte Eigenschaften gegenüber SPK mit Schalen aufweist. Zur Herstellung eines festen Plattformprodukts wurde der SPK mittels Ethanol entfettet und mittels low-moisture extrusion (LMCE) texturiert. Die halbfesten und flüssigen Plattformprodukte (Aufstriche und Drinks) wurden mittels Fermentation und unter Variation des SPK-Anteils in Mischungen mit Molke entwickelt. Neben der Fermentation an sich wurden auch Vor- und Nachbehandlungsschritte, insbesondere enzymatische Behandlung sowie Hochdruckhomogenisation untersucht mit dem Ziel, die physikalische Stabilität der Drinks und die Textur der Aufstriche zu verbessern.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Ziel des Projektes FERBLEND war die Entwicklung fermentierter Plattformprodukte aus SPK und Molke sowie deren analytische Charakterisierung. Zum Erreichen dieser Ziele wurde das Projekt in 5 Arbeitspakete (WP) unterteilt. Der Arbeitsplan ist in Abbildung 1 dargestellt.

Arbeitspaket 1 umfasste die Vorbehandlung der Rohstoffe. Dabei wurden Trocknungs-, Vermahlungs- und Trockenfraktionierungsverfahren sowie die Entfettung des SPK mittels Lösungsmittelextraktion untersucht. Verschiedene SPK sowie die vorbehandelten Proben wurden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und der technofunktionellen Eigenschaften analysiert.

Im zweiten Arbeitspaket wurde die Fermentation der SPK/Molke-Mischungen untersucht. Dies beinhaltete das Screening von Fermentationsmikroorganismen, das vom Projektpartner P2 (IT) durchgeführt wurde. Die auf Basis dieses Screenings ausgewählten Mikroorganismen (MSB, Hefen) wurden für die nachfolgenden Fermentationen genutzt.

Arbeitspaket 3 beinhaltete die Analyse der fermentierten Mischungen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, Textur, rheologischen und physikalischen Eigenschaften.

Die gezielte Entwicklung der Plattformprodukte erfolgte in Arbeitspaket 4. Es wurden fermentierte Getränke, halb feste fermentierte Aufstriche und Extrudate, welche als Snack-Produkte sowie als Fleischanaloge eingesetzt werden können, untersucht. Der Fokus lag dabei auf den Textureigenschaften der Plattformprodukte und wie diese verändert werden können. Dabei kamen eine Behandlung der Mischungen mit Enzymen sowie die

Hochdruckhomogenisation zum Einsatz. Zusätzlich wurde der Ansatz zur kombinierten Weiterverwertung von SPK und Molke über eine Lebenszyklusanalyse ökonomisch bewertet.

Das fünfte Arbeitspaket umfasste die organisatorischen Tätigkeiten rund um das Projekt, einschließlich der Kommunikation und der Verbreitung des Projektes, z.B. in Form von Stakeholder-Newslettern und Online-Meetings.

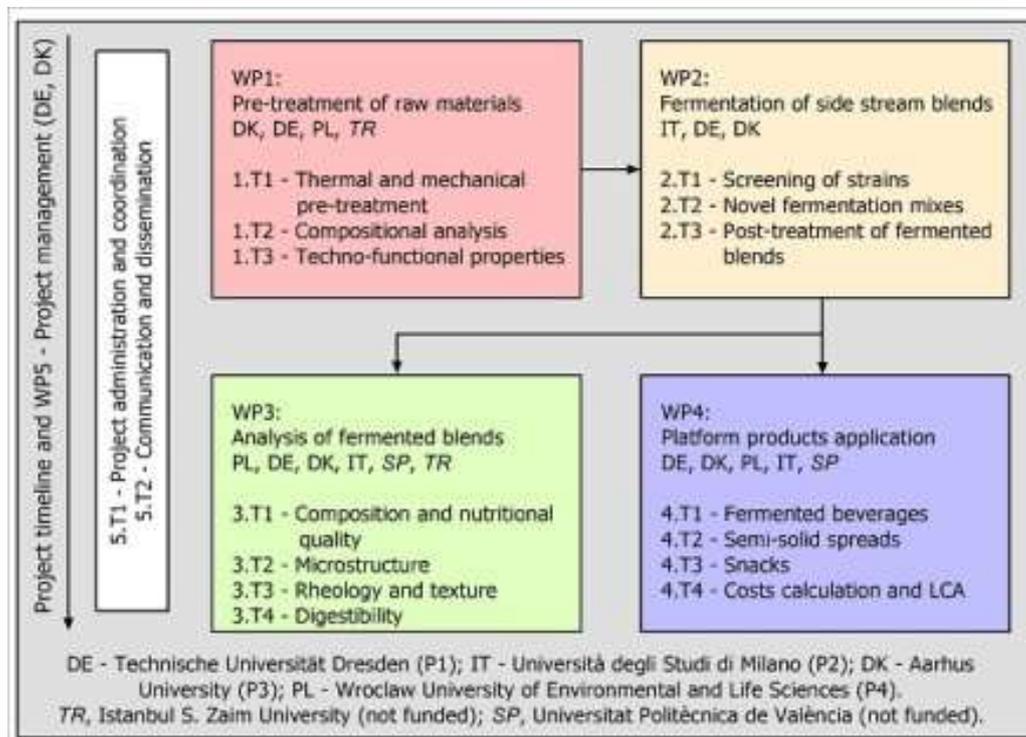


Abbildung 1: Arbeitsplan des Projektes FERBLEND. WP - Work Package, T - Task

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Sonnenblumenpresskuchen ist ein Nebenprodukt der Pflanzenölherstellung und entsteht beim Pressen von Sonnenblumenkernen, den Hauptölsaaten neben Soja und Raps. Die Mengen an Sonnenblumenpresskuchen bzw. -schrot nehmen stetig zu und betragen im Jahr 2022/2023 weltweit circa 22,5 Mio. t (www.statista.com). Schrot bezeichnet Presskuchen, der nach dem Pressen zusätzlich mit Lösungsmittel (meist Hexan) extrahiert wurde, um das restliche Öl aus dem Presskuchen zu gewinnen. Aufgrund der im SPK enthaltenen Nährstoffe wird dieser überwiegend als Tierfutter verwertet. Das Verfahren der Lösungsmittelextraktion wird vor allem in der industriellen Ölherstellung genutzt, es gibt jedoch viele KMUs in Europa, welche Sonnenblumenöl mittels Kaltpressung ohne anschließende Lösungsmittelextraktion herstellen. Bei der Kaltpressung werden Temperaturen von 40 °C in der Regel nicht überschritten, was eine höhere Ölqualität zur Folge hat und ausgelobt werden kann. Gleichzeitig entsteht dabei SPK mit einem hohen Gehalt an Proteinen, Ballaststoffen, Mineralstoffen und Polyphenolen. Zudem weist SPK aus Kaltpressungen einen höheren Fettgehalt auf.

Protein- und Ballaststoffgehalt im SPK hängen maßgeblich von der Vorbehandlung der Ölsaaten ab. Werden die Sonnenblumenkerne vor dem Pressen geschält, weist der Presskuchen einen deutlich höheren Proteingehalt von bis zu 50 g/100 g und einen entsprechend geringeren

Ballaststoffgehalt auf, da die Schalen von Sonnenblumenkernen fast ausschließlich aus Ballaststoffen (vorwiegend Cellulose und Lignin) bestehen. SPK aus teil- oder ungeschälten Sonnenblumenkernen hingegen hat einen deutlich geringeren Proteingehalt von etwa 27 g/100 g. Auch Polyphenole sind mit bis zu 4 g/100 g im SPK enthalten, wovon der größte Anteil Chlorogensäure ist. Bisherige Ansätze zur Verwertung von Presskuchen beinhalteten die Extraktion von Proteinen oder anderen Komponenten, den Einsatz als Medium zur Enzymproduktion und am Häufigsten die Verwendung als Tierfutter. Im Lebensmittelbereich wurde bereits der Einsatz in Backwaren oder Milchprodukten untersucht, es sind jedoch bisher keine Produkte bekannt, die Sonnenblumenpresskuchen enthalten. Einige Ölmühlen haben den Presskuchen bereits zu ihrem Verkaufssortiment hinzugefügt, für die Verwendung als Tierfutter, oder auch als Proteinpulver für die individuelle Verwendung in Lebensmitteln.

Molke ist ein Nebenprodukt der Käseherstellung, es kann zwischen Süßmolke aus der Labkäseproduktion und Sauermolke aus der Sauermilchkäse- und Quarkherstellung unterschieden werden. In großen Molkereierunternehmen ist die Membranfiltration von Molke zur Gewinnung wertvoller Inhaltsstoffe (vor allem Proteine und Laktose) weitgehend etabliert, die daraus gewonnenen Produkte werden zur Lebensmittelherstellung und in der pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Zudem wird Molke für die mikrobielle Herstellung organischer Säuren, Ethanol oder Biomolekülen genutzt. All diese Möglichkeiten stehen jedoch oft für kleinere Unternehmen nicht zur Verfügung, woraus eine Abwertung der entstehenden Molke vorwiegend als Tierfutter folgt.

Der Trend zur Reduzierung tierischer Proteine in Lebensmitteln förderte die Entwicklung einiger pflanzenbasierter fermentierter Produkte, meist auf Basis von Soja, Kokosnuss, Mandel, Lupine oder Cashew. Meist werden dazu Joghurt-Starterkulturen eingesetzt, die aus verschiedenen Milchsäurebakterienarten bestehen. Dadurch können das Aroma, die Haltbarkeit sowie unter Umständen auch der gesundheitliche Nutzen der Produkte verbessert werden. Eine weitere interessante Möglichkeit ist die Kombination von Milchsäurebakterien mit Hefen, wie sie beispielsweise im Kefir vorkommen. Die Hefen tragen dabei maßgeblich zur Aromabildung bei. Häufig mangelt es solchen Produkten jedoch an Struktur und Textur, was wiederum die Kombination aus pflanzlichen und tierischen Proteinquellen interessant macht. Solche gemischten Systeme weisen ein hohes Potenzial für die Entstehung technofunktioneller und ernährungsphysiologischer Synergismen auf.

Aus einer Patentrecherche in der Datenbank FAMPAT am Patentinformationszentrum der TU Dresden zu den Begriffen "oilseed", "press cake" und "whey" in den Patentklassen "vegetable oils", "dairy products" und "proteins" gingen sieben Patente zur Proteinextraktion aus Ölpresskuchen (WO2018195657, 2018; EP3481216, 2017; CN106937680, 2017; RU2011130585, 2011; EP2293685, 2009; EP1720415, 2005; US7354616, 2003), sowie jeweils ein Patent zur Extrusion von Presskuchen und Molkenprotein hervor (EP3476225, 2019; WO2015082773, 2015). Des Weiteren wurden Patente zur Herstellung Tofu-ähnlicher Produkte aus Ölsaaten (US20190037880, 2019; EP3273792, 2016; DE2557782, 1975) und zur Fermentation von Presskuchen für die Herstellung eines Erdnuss-Joghurts bzw. zur Tierfutterherstellung gefunden (CN108967538, 2018; WO2014131422, 2014). Zur kombinierten Fermentation von Molke und Ölpresskuchen zur Herstellung eines Lebensmittels existiert bisher kein Patent.

3 Material und Methoden

Zu Beginn von Arbeitspaket 1 wurde Kontakt zu Ölmühlen in Deutschland und Österreich hergestellt, um SPK für das Projekt zu akquirieren. Insgesamt standen 4 kaltgepresste SPK, ein heißgepresster SPK sowie ein heißgepresst und mit Hexan extrahierter SPK zur Verfügung, welche sich in Bezug auf Anbaugebiet, Herstellungsverfahren und Anteil an Sonnenblumenkernschalen im SPK unterschieden (Abbildung 2). Die SPK wurden zunächst mittels Ultrazentrifugalmühle vermahlen und hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung sowie der technofunktionellen Eigenschaften analysiert. Dazu wurden Methoden für Wasser- und Ölbindevermögen, Wasserlöslichkeit, Proteinlöslichkeit, Quellvermögen, Emulgierereigenschaften, Schaum- und Sorptionsverhalten sowie Farbe an das Substrat angepasst.



Abbildung 2: Beispiele für im Projekt bearbeitete Sonnenblumenpresskuchen (von links nach rechts: aus vollständig geschälten Saaten; aus 90% geschälten Saaten; aus 70% geschälten Saaten; aus ungeschälten Saaten; heißgepresst aus ungeschälten Saaten; heißgepresst aus ungeschälten Saaten und extrahiert mit Hexan).

Um den Einfluss der Pressparameter auf die Zusammensetzung von SPK zu untersuchen, wurden Versuche an einer CA 59 G Schneckenpresse (IBG Monforts GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, DE) durchgeführt. Dabei wurden die Rotationsgeschwindigkeit der Schnecke zwischen 10 und 55 U/min, der Durchmesser der Auslassdüse zwischen 4 und 8 mm sowie die Temperatur zwischen 90 und 130 °C variiert und hinsichtlich Durchsatz, Ölausbeute, Fettgehalt im Presskuchen, Öltemperatur und Sedimentanteil im Öl optimiert. In weiteren Versuchen wurde zusätzlich der Einfluss der Rohstofffeuchte auf Öl und Presskuchen analysiert.

Zur Proteinanreicherung von SPK wurde dessen Entfettung mittels Lösungsmittelextraktion untersucht. Dabei wurden sowohl Lösungsmittelart (Hexan, Ethanol, Isopropanol) wie auch Feststoff-/Lösungsmittel-Verhältnis, Extraktionsdauer und die sequentielle Durchführung der Extraktion variiert und der Einfluss dieser Parameter auf die Zusammensetzung und ausgewählte technofunktionelle Eigenschaften der entfetteten SPK bewertet.

Die Trockenfraktionierung wurde als weitere Methode angewandt, um den Proteingehalt von SPK aus ungeschälten Sonnenblumenkernen zu erhöhen. Dazu wurde SPK mittels Ultrazentrifugalmühle auf eine Partikelgröße $<1000 \mu\text{m}$ bzw. $<2000 \mu\text{m}$ vermahlen. Zur Trockenfraktionierung des gemahlene SPK wurde sowohl die Trennung mittels Siebturm als auch mittels Windsichtung genutzt. Beim Siebturm wurden 9 Siebböden mit Maschenweiten zwischen 80 und 800 μm eingesetzt. Bei der Windsichtung wurde ein Zick-Zack-Sichter 1-40 MZM (Hosokawa Alpine, Augsburg, DE) eingesetzt und der Luftvolumenstrom in 8 Stufen von 0,5 bis 4,0 m^3/h variiert (Abbildung 3). Die erhaltenen Fraktionen beider Methoden wurden hinsichtlich ihres Proteingehaltes und der Ausbeute untersucht. Anschließend wurden die besten Trennstufen jeder Methode ausgewählt und die SPK-Fraktionen hinsichtlich Proteingehalt sowie

verschiedener technofunktionaler Eigenschaften wie Proteinlöslichkeit, Schaum- und Emulgierereigenschaften bewertet.

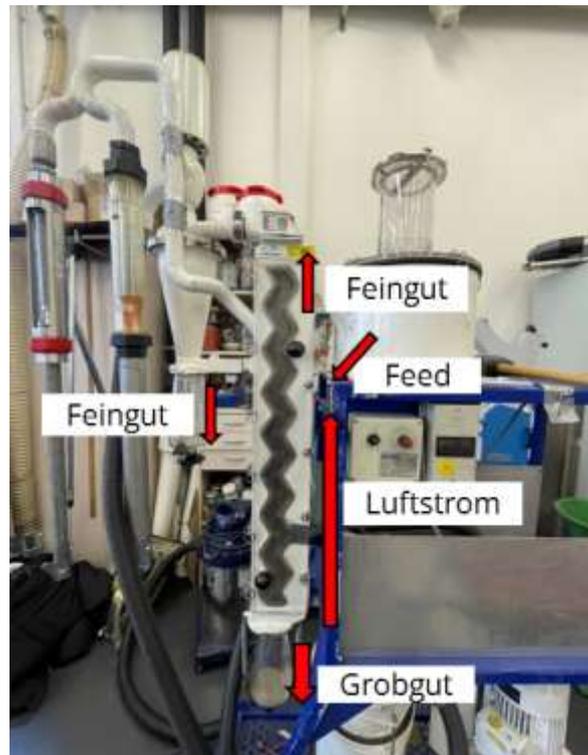


Abbildung 3: Zick-Zack-Sichter 1-40 MZM (Hosokawa Alpine, Augsburg, DE).

Weiterhin wurden verschiedene Methoden zur Vorbehandlung von SPK untersucht mit dem Ziel, die Proteinlöslichkeit zu erhöhen, da dies für die Fermentation notwendig sein kann. Dabei wurden enzymatische Vorbehandlungen genauso wie die Entfettung mittels Lösungsmittel, alkalische und thermische Behandlung sowie Ultraschallbehandlung verglichen. Ebenso wurden thermisch vorbehandelte Proben (bereitgestellt durch Projektpartner P4 (PL)) hinsichtlich ihrer Proteinlöslichkeit analysiert. Die thermischen Vorbehandlungen umfassten die Mikrowellentrocknung mit und ohne Kombination mit Ultraschall.

Zur Vorbehandlung von SPK/Molke-Mischungen wurden enzymatische Hydrolysen mit verschiedenen Proteasen (Flavourzyme®, Alcalase®, Neutrase® und Galaya® Smooth) durchgeführt. Ziel der enzymatischen Vorbehandlung war die Texturverbesserung von fermentierten halbfesten Plattformprodukten bzw. die Verbesserung der Stabilität der flüssigen Produkte. Daher erfolgten im Anschluss an die Enzymbehandlung vorwiegend Texturanalysen und rheologische Messungen.

Für Arbeitspaket 2 wurden zunächst Versuche zur Hochdruckhomogenisation an unfermentierten Presskuchen-Suspensionen mit einem SPK-Gehalt zwischen 10 und 30 g/100 g durchgeführt. Dabei kam sowohl SPK ohne Schalen als auch SPK aus ungeschälten Sonnenblumenkernen zum Einsatz, welche auf eine Partikelgröße <200 µm vermahlen und in rekonstituierter Süßmolke bzw. Laktoselösung suspendiert wurden. Anschließend wurde untersucht, inwiefern die Hochdruckhomogenisation solcher Suspensionen möglich ist und wie dieser Verfahrensschritt Stabilität, Partikelgröße und Schaumbildungsvermögen dieser

Suspensionen beeinflusst. Zur Untersuchung der Stabilität wurde die optische Zentrifuge LumiSizer® 610 (LUM GmbH, Berlin, DE) genutzt.

Die nachfolgenden Versuche zu Fermentation einschließlich Vor- und Nachbehandlung erfolgten mit SPK, der keine Schalen enthielt und daher den höchsten Proteingehalt aufwies. Die ersten Versuche zur Fermentation von Medien aus SPK und Wasser bzw. rekonstituierter Molke wurden im 100 mL-Maßstab mit *Lactiplantibacillus plantarum* durchgeführt. Ebenso wurde die Auswirkung enzymatischer, chemischer und thermischer Vorbehandlungen auf die Fermentation mit *L. plantarum* untersucht.

Nach Auswahl einer Kombination aus Milchsäurebakterium (*Lactococcus lactis*) und einer Hefe (*Kluyveromyces lactis*) durch den Projektpartner IT wurde eine Methode zur Vorkultivierung dieser MO etabliert und die Keimzahl der Vorkultur analysiert, um eine geeignete Inokulationsmenge festlegen zu können. Für spätere Versuche wurde zusätzlich eine Methode zur Herstellung von Direktstartern etabliert, mit der das Animpfen von SPK-Medien stark vereinfacht wurde.

An Fermentationsmedien aus geschältem SPK in Kombination mit Molke bzw. Wasser wurden weitere Fermentationsversuche mit *L. lactis* und *K. lactis* durchgeführt. Dabei wurde die Presskuchenkonzentration zwischen 5 und 22,5 g/100 g variiert. Dies lieferte Systeme mit unterschiedlicher Viskosität, die als Plattformprodukte für Drinks oder Aufstriche dienen können. Während der Fermentation wurde der pH-Verlauf aufgezeichnet sowie die Lebendkeimzahl bestimmt.

Zur Verbesserung von Textur und Stabilität der flüssigen bzw. halbfesten fermentierten Produkte wurde ein zweistufiger SPX Laborhomogenisator (AxFlow GmbH, Düsseldorf, DE) genutzt. Zusätzlich wurde der Einfluss der Wärmebehandlung auf die mikrobiologische Stabilität der fermentierten halbfesten Produkte mittels Bestimmung der Lebendkeimzahl untersucht. Zur weiteren Erhöhung der Viskosität der halbfesten Aufstriche wurden diese im Anschluss an die Fermentation zentrifugiert und die flüssige Phase abgetrennt, welche als potentieller Drink genutzt werden könnte.

In Arbeitspaket 3 wurden Textur, rheologische Eigenschaften und physikalische Stabilität der fermentierten Proben bewertet. Für flüssige Proben wurde eine Zylindergeometrie für Rotationsversuche am MCR-301 Rheometer (Anton Paar GmbH, Graz, AT) genutzt und die Stabilität mittels Zentrifugiermethode und optischer Methode (Turbiscan Lab, Formulation, Toulouse, FR) bestimmt. Bei halbfesten Proben kam stattdessen eine Platte-Platte-Geometrie für Rotations- und Oszillationsversuche zum Einsatz. Zusätzlich wurde die Textur der halbfesten Proben mittels Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Goldaming, UK) mit einer zylindrischen Stempelgeometrie hinsichtlich Festigkeit und Adhäsivität untersucht. Die halbfesten Proben wurden außerdem tribologischen Messungen mit einem ARES-G2 Rheometer (TA Instruments, Newcastle, DE, USA) unterzogen. Dafür wurde die Geometrie Halbring-auf-Platte genutzt, wobei die untere Platte mit chirurgischem Klebeband beklebt wurde, um die Oberfläche der Zunge zu imitieren und der Reibungskoeffizient ausgewertet. Die Stabilität dieser Proben wurde mittels Zentrifugiermethode untersucht. Der Effekt der Enzymbehandlung der fermentierten Proben erfolgte über SDS-Gelelektrophorese und Quantifizierung des Nichtprotein-Stickstoffs.

In Arbeitspaket 4 wurden Versuche zur low-moisture-Extrusion mit geschältem SPK, geschältem entfettetem SPK und einem kommerziellen Sonnenblumenprotein (Heliaflor55, All Organic Treasures GmbH, Wigginsbach, DE) durchgeführt. Anhand des kommerziellen Proteins wurden zunächst Extrusionstemperatur und Rohstofffeuchte optimiert. Der Fokus lag dabei auf den Antwortparametern Extrudatfeuchte und Textureigenschaften der Extrudate in trockenem sowie hydriertem Zustand. Die optimierten Extrusionsparameter wurden dann zur Herstellung von Extrudaten aus den übrigen Rohstoffen genutzt. Auch Textur, Feuchte, Expansion und Farbe dieser Extrudate wurden analysiert. Zur Texturanalyse wurde dabei der Texture Analyzer mit der Warner Bratzler Geometrie sowie die Universalprüfmaschine Instron 5564 (Instron GmbH, High Wycombe, UK) für Zugversuche an hydrierten Proben eingesetzt.

In Kooperation mit dem Projektpartner IT wurde mittels sensorischer Tests der Einfluss verschiedener Mikroorganismen bei der Fermentation auf die sensorischen Eigenschaften halbfester Produkte untersucht. Die für die Untersuchungen genutzten fermentierten Proben wurden vom Projektpartner IT erzeugt und bereitgestellt. Zunächst wurden zwei sensorische Profilprüfungen durchgeführt, um Attribute zu finden, mit welchen die fermentierten Proben beschrieben werden können. In einem dritten Test wurde das Aromaprofil der Proben anhand dieser Attribute vergleichend bewertet. Nach Auswertung der Ergebnisse und Anpassung der Fermentationsproben wurde erneut eine Analyse des Aromaprofils mit den vier ausgewählten Attributen durchgeführt.

Die betriebsökonomische Betrachtung erfolgt in einer studentischen Abschlussarbeit in Zusammenarbeit mit der UNU-FLORES (Prof. Edeltraud Günther und Vera Greschner Farkavcova, Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources). Das Ziel bestand darin, eine zuverlässige Bewertung der möglichen Treibhausgas-Einsparungen sowie der potenziellen Gewinne innovativer Verfahren im Vergleich zu Standard-Szenarien zu erhalten, in denen das Nebenprodukt an Landwirte als Viehfutter oder Dünger verkauft wird. Inventardaten zur Ressourcen- und Energieverwendung wurden mittels eines Fragebogens gesammelt, der an alle deutschen Molkereien und Ölmühlen verschickt wurde, die im Rahmen der Recherche gefunden wurden. Es wurde angenommen, dass eine weitere Verarbeitung von Molke und SPC zu funktionalen Zutaten oder Lebensmitteln zu einem geringeren Treibhauspotenzial führt und ausreichendes Marktpotenzial bietet, um wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Um Einblicke in bestehende Innovationshürden innerhalb von Unternehmen unterschiedlicher Größe zu gewinnen, wurde zusätzlich ein zweiter Fragebogen verschickt. Er befasste sich mit dem Phänomen organisatorischer Barrieren, indem die Teilnehmer gebeten wurden, verschiedene Aussagen zu externen, organisatorischen, teambezogenen und individuellen Barrieren zu bewerten. Die Hypothese hierbei war, dass die gewählten Barrieren ausgeprägter sind, je größer das Unternehmen ist.

In Arbeitspaket 5 erfolgte die Projektadministration während der gesamten Projektlaufzeit. Darunter zählt die Organisation von online und Präsenzmeetings in regelmäßigen Abständen, die Koordination der Projektaktivitäten zur Erreichung der Milestones, die Kontrolle der Deliverables, die Organisation von Stakeholder Meetings und das Schreiben der Newsletter und der gemeinsamen Publikationen.

4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Die Analyse der vermahlenden SPK ergab deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung. So hatten SPK mit einem höheren Schalenanteil einen deutlich höheren Anteil an Ballaststoffen und folglich einen geringeren Proteingehalt, der zwischen 25 und 47 g/100 g lag. Während Asche- und Feuchteanteil keine Unterschiede zeigten, schwankte der Fettgehalt zwischen 7 und 18 g/100 g. Diese Differenzen resultieren aus unterschiedlich hohen Schalenanteilen beim Pressen wie auch durch die Herstellungsparameter bei der Pressung selbst. Infolge der Zusammensetzung unterschieden sich auch die technofunktionellen Eigenschaften sowie die Partikelgröße der Proben. So konnte beispielsweise festgestellt werden, dass das Wasserbindevermögen negativ mit dem Fettgehalt korreliert, und dass die mittlere Partikelgröße von Presskuchen mit Schalenanteil höher ist als jene von geschältem SPK. Zudem zeigte sich sowohl bei geschältem als auch bei ungeschältem SPK eine Abhängigkeit der Proteinlöslichkeit vom pH. Während die Proteinlöslichkeit im sauren Bereich sehr gering ist, steigt sie im basischen Bereich (pH 12) bis auf 70-90 % an. Zusätzlich wurde eine Blaufärbung der SPK-Suspensionen im alkalischen Bereich beobachtet, welche durch eine Komplexbildung aus Proteinen und Polyphenolen entsteht.

Bei Modellexperimenten zur Herstellung von Presskuchen und Öl mittels Labor-Schneckenpresse wurden die besten Ergebnisse bei einer mittleren bis hohen Schneckenrotationsgeschwindigkeit (40 – 55 U/min), einem Düsendurchmesser von 5 mm und einer Temperatur von 90 °C erzielt. Das so gewonnene Öl wies einen Sedimentanteil zwischen 10 und 14 g/100 g und der Presskuchen einen Fettgehalt von etwa 12 g/100 g auf.

Die Entfettung des SPK aus ungeschälten Sonnenblumenkernen mittels „grüner“ Lösungsmittelalternativen (Ethanol, Isopropanol) war erfolgreich, sobald eine mehrfache Extraktion durchgeführt wurde. Auf diese Weise konnte der Fettgehalt ebenso reduziert werden wie beim Einsatz von Hexan, was gleichzeitig zu einer Erhöhung des Proteingehaltes führte (Abbildung 4). Auch die technofunktionellen Eigenschaften wie Wasserbindevermögen, Wasserlöslichkeit und Proteinlöslichkeit konnten im Vergleich zum nicht entfetteten SPK verbessert werden. Gleichzeitig veränderte sich die Farbe durch die Entfettung deutlich. Der SPK wurde heller, da neben dem Fett auch Farbpigmente durch das Lösungsmittel extrahiert wurden. Die Ergebnisse zur Entfettung von SPK wurden im International Journal of Food Science and Technology veröffentlicht.

Morejón Caraballo, S., Rohm, H., Struck, S., 2023. Green solvents for deoiling pumpkin and sunflower press cakes: impact on composition and technofunctional properties. International Journal of Food Science and Technology 58, 1931-1939.

Die dreifache Extraktion mit Ethanol und einem Feststoff-Lösungsmittel-Verhältnis von 1:10 wurde im Folgenden auch zur Entfettung teil- und ungeschälter SPK eingesetzt.

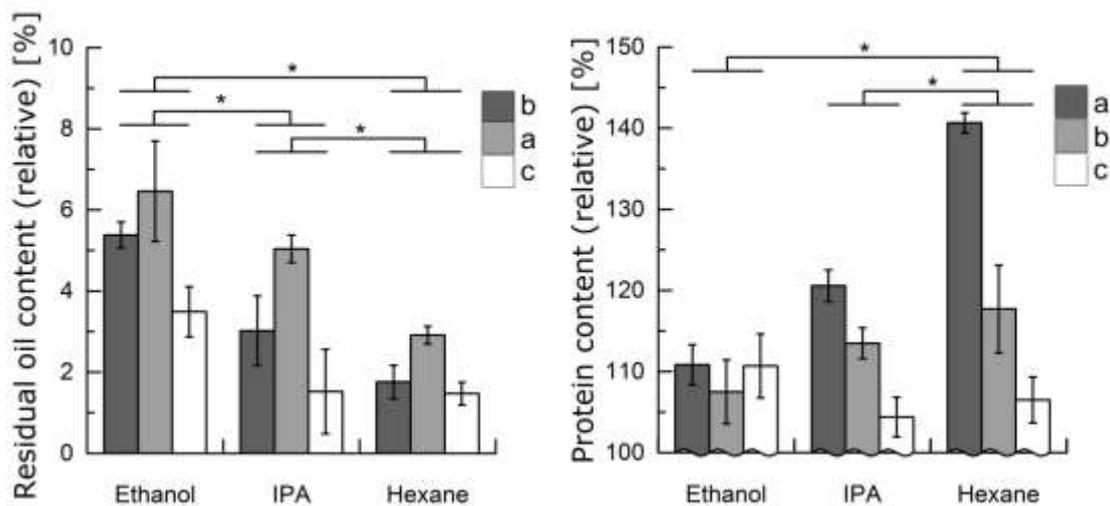


Abbildung 4: Relativer Fett- und Proteingehalt von SPK entfettet mit Ethanol, Isopropylalkohol (IPA) oder Hexan; dunkelgrau: Feststoff-Lösungsmittel-Verhältnis 1:6, Extraktion für 3 h; hellgrau: Feststoff-Lösungsmittel-Verhältnis 1:10, Extraktion für 2 h; weiß: Feststoff-Lösungsmittel-Verhältnis 1:10, Extraktion für 3 h (n=4).

Die Trockenfraktionierung von SPK mit Schalen erbrachte ebenfalls eine deutliche Erhöhung des Proteingehaltes. Dieser konnte beim Sieben auf maximal 47,6 g/100 g Trockenmasse (TM) und bei Nutzung des Windsichters von ursprünglich 26,4 g/100 g TM auf maximal 46,2 g/100 g TM erhöht werden. Da die Ausbeuten dieser proteinreichen Fraktionen relativ gering waren, wurden für die folgenden Versuche Trennstufen ausgewählt, die eine höhere Ausbeute aufwiesen und dennoch zu einer signifikanten Erhöhung des Proteingehaltes führten. Während sich die Proteinlöslichkeit der einzelnen Fraktionen nicht unterschied, konnten signifikante Unterschiede der Schaumkapazität, -stabilität sowie der Emulgiereigenschaften festgestellt werden. Ein Manuskript zur Veröffentlichung der Ergebnisse zur Trockenfraktionierung ist in Arbeit.

Bei der Untersuchung des Einflusses verschiedener Vorbehandlungen zeigte sich eine deutliche Steigerung der Proteinlöslichkeit durch alkalische oder enzymatische Vorbehandlung bzw. durch Kombination beider Methoden. Die alkalische Behandlung des SPK führte jedoch zu einer blau/grün-Färbung der Proben durch die Komplexbildung aus Proteinen und Polyphenolen. Durch Mikrowellentrocknung sank die Proteinlöslichkeit, mit zunehmender Dauer der Trocknung (zwischen 4 und 10 min) nahm die Proteinlöslichkeit ab.

Die Enzymbehandlung wurde an Mischungen aus geschältem SPK und Molke mit einem SPK-Gehalt von 22,5 g/100 g durchgeführt. Durch den Einsatz der Proteasen sollte die Proteindenaturierung während des Autoklavierens minimiert und dadurch die Textur verbessert werden. Die Viskosität dieser halbfesten Proben wurde durch die vorangehende Behandlung mit Proteasen verringert, insbesondere mit den Enzymen Flavourzyme® und Alcalase®. Auch bei der Messung des Nicht-Protein-Stickstoff-Gehaltes sowie in der SDS-Page zeigten sich die größten Effekte bei diesen beiden Enzymen. Durch die Proteolyse nahm der Nicht-Protein-Stickstoff-Gehalt zu, gleichzeitig war bei der SDS-Page-Analyse eine Abnahme der Molekülgröße der Proteine zu verzeichnen. Interne sensorische Bewertungen zeigten, dass die halbfesten Proben nach der Behandlung mit Flavourzyme® einen leicht bitteren und nach Behandlung mit Alcalase®

einen deutlich bitteren Geschmack aufwiesen. Da bei den vorangegangenen Versuchen beide Enzymbehandlungen einen ähnlich starken Einfluss auf die Probeneigenschaften hatten, wurden die nachfolgenden Versuche nur mit Flavourzyme® durchgeführt.

Die Hochdruckhomogenisation von unfermentierten Proben wurde in Arbeitspaket 2 untersucht. Dabei zeigte sich die Notwendigkeit des vorherigen Vermahlens der SPK auf eine maximale Partikelgröße von 200 µm, da es ohne diesen Schritt häufig zu Verblockungen im Homogenisator kam. Abgesehen von der Verringerung der Partikelgröße führte eine höhere SPK-Konzentration in der Suspension sowie das Vorhandensein von Schalen im SPK zu einer Verbesserung der Stabilität. Suspensionen mit geschältem SPK wiesen hingegen eine höhere Schaumbildungskapazität auf. Auch die in den SPK/Molke-Suspensionen vorhandenen Molkenproteine wirkten sich positiv auf die Schaumbildungskapazität aus im Vergleich zu den Suspensionen, welche statt mit Molke mit einer Laktoselösung hergestellt wurden. Außerdem wiesen Proben mit einem höheren SPK-Gehalt und Proben mit einem höheren Ballaststoffgehalt (ungeschälter SPK) eine höhere Viskosität und Steifigkeit auf. Grundsätzlich zeigten SPK-Suspensionen ein scherverdünnendes Fließverhalten mit einem Plateau bei mittlerer Schergeschwindigkeit (1 – 10/s), was auf eine Umordnung von Partikeln und Fasern bei dieser Schergeschwindigkeit schließen lässt.

Bei den ersten Fermentationsversuchen mit *Lactiplantibacillus plantarum* konnte der pH von ca. 6,3 innerhalb von maximal 35 h auf 4,6 abgesenkt werden. Eine Steigerung des SPK-Gehaltes im Fermentationsmedium mit Molke sorgte für eine Verkürzung der Fermentationszeit bis zum Erreichen eines pH von 4,6.

Auch bei der Fermentation von SPK-Medien mit *Lactococcus lactis* und *Kluyveromyces lactis* konnte ein pH-Abfall über eine Fermentationszeit von 24 h beobachtet werden. Zu Beginn der Proben betrug der pH 6,3, nach einer lag-Phase von etwa 8 h sank der pH bis zu einem End-Wert von etwa 4,6. Die Lebendkeimzahl der fermentierten Proben betrug etwa 4×10^9 /g für MSB und 3×10^6 /g für Hefen.

Das Autoklavieren vor der Fermentation führte zu einer Agglomeration der denaturierten Proteine, dadurch wiesen die fermentierten Medien eine deutlich andere Textur und Viskosität auf als die unfermentierten Suspensionen. Die Hochdruckhomogenisation der Proben wurde zur Verbesserung der Textur der halbfesten Proben und zur Erhöhung der Stabilität der flüssigen Proben genutzt.

Die Analyse von Rheologie, Textur und Stabilität der verarbeiteten und fermentierten Produkte erfolgte in Arbeitspaket 3. Die Viskosität der fermentierten flüssigen Proben aus geschältem SPK (5 g SPK/100 g) lag bei etwa 24 mPa.s bei einer Schergeschwindigkeit von 10/s, während die halbfesten Proben (22,5 g SPK/100 g) eine Viskosität von etwa 10^5 mPa.s aufwiesen. Ebenso wie die unfermentierten SPK-Suspensionen zeigten auch die autoklavierten und fermentierten Proben ein scherverdünnendes Verhalten mit einem Plateau bei mittlerer Schergeschwindigkeit. Durch die Hochdruckhomogenisation stieg bei flüssigen Proben die Viskosität, während sie bei halbfesten Proben sank. Auch hinsichtlich der Stabilität wiesen flüssige und halbfeste Proben entgegengesetzte Ergebnisse auf. Während bei flüssigen Proben die Stabilität durch den Einsatz der Homogenisation zunahm, also die Sedimentation verringert bzw. verlangsamt wurde, sank

die Stabilität bei halbfesten Proben, das heißt die Synäreseneigung nahm zu. Ausschlaggebend dafür ist die Verringerung der Partikelgröße während der Homogenisation. Bei flüssigen Proben sorgt dies für eine dichtere Packung der Partikel, was die Sedimentation verringert und die Viskosität erhöht. Bei den halbfesten Proben wurden durch die Homogenisation Proteinagglomerate zerstört, die durch das Autoklavieren entstanden. Dadurch wurde Flüssigkeit frei, die zuvor in den Aggregaten eingeschlossen war. Diese freie Flüssigkeit bedingte eine geringere Viskosität und ließ sich durch Zentrifugieren leichter abtrennen. Homogenisierte Proben wiesen zudem eine verringerte Festigkeit und Adhäsion auf, und die tribologischen Messungen zeigten einen Anstieg des Reibungskoeffizienten mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit. Die homogenisierten Proben wiesen einen glatteren Kurvenverlauf auf, was auf die Abwesenheit von großen Partikeln oder Agglomeraten schließen lässt. Zudem stieg der Reibungskoeffizient bei den homogenisierten Proben bei niedrigen Winkelgeschwindigkeiten an, während sie bei unhomogenisierten Proben auf einem höheren, konstanten Wert blieb.

Die im Anschluss an die Fermentation separierten Aufstriche wiesen eine höhere Viskosität und Festigkeit auf als vor dem Zentrifugieren. Die beim Zentrifugieren als potenzieller „Drink“ gewonnene flüssige Phase wies hingegen keine positiven sensorischen Eigenschaften auf.

Arbeitspaket 4 beschäftigte sich mit der Entwicklung von Plattformprodukten in fester, halbfester und flüssiger Form. Zum Herstellen fester Plattformprodukte wurde die low-moisture Extrusion gewählt. Bei der Extrusion von kommerziellem Sonnenblumenprotein ergaben sich eine Rohstofffeuchte von 15 g/100 g und eine Extrusionstemperatur von 180 °C als optimale Parameter. Dabei hatte sowohl die Extrusionstemperatur als auch die Rohstofffeuchte einen Einfluss auf die Festigkeit der Extrudate in trockener und hydrierter Form (Abbildung 5).

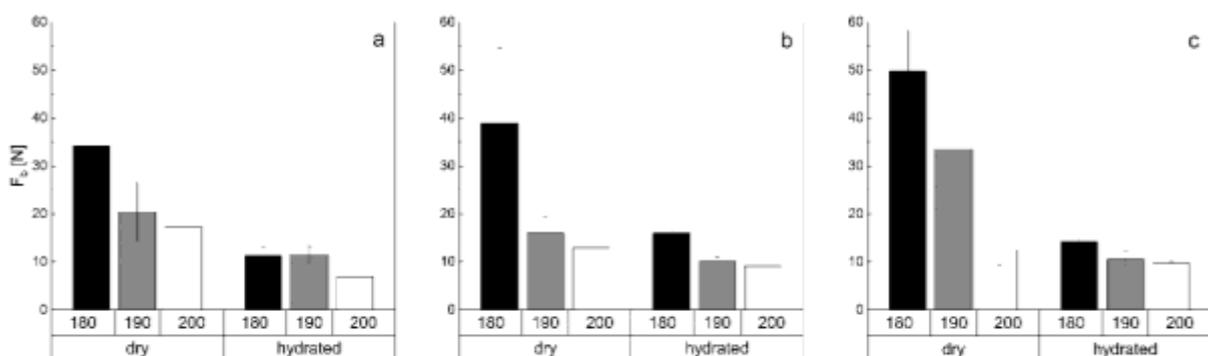


Abbildung 5: Bruchkraft F_b [N] von Extrudaten aus kommerziellem Sonnenblumenprotein mit einem Feuchtegehalt von (a) 15 g/100 g, (b) 20 g/100 g, (c) 25 g/100 g und einer Extrusionstemperatur von 180 - 200 °C.

Auf diese Art und Weise wurden anschließend auch der geschälte und der geschälte sowie entfettete SPK extrudiert. Die Extrudate aus dem entfetteten SPK sowie dem kommerziellen Rohstoff waren stark expandiert. Sie wiesen dadurch eine geringere Festigkeit sowie ein erhöhtes Wasserbindevermögen auf und waren im hydrierten Zustand besser dehnbar. Dies alles ist zurückzuführen auf den höheren spezifischen mechanischen Energieeintrag (SME), der wiederum durch den geringen Fett- und hohen Proteingehalt der Rohstoffe ermöglicht wurde. Der hohe SME von 65,6 und 115,4 Wh/kg für das kommerzielle Protein bzw. den entfetteten SPK führte

zusammen mit der Temperatureinwirkung während der Extrusion zu einer Umstrukturierung der Proteine. Diese wurden denaturiert, aufgebrochen und vernetzt, sodass sich eine zusammenhängende Netzwerkstruktur bildete. Beim Austritt aus der Extruderdüse kommt es durch den plötzlichen Druckabfall zum schlagartigen Verdampfen des Wassers, wodurch bei Proben mit einem stabilen Proteinnetzwerk eine expandierte Struktur entstehen kann. Die Extrudate aus geschältem, unbehandeltem SPK wiesen hingegen eine sehr kompakte, kaum expandierte und feste Textur auf (Abbildung 6). Elektropherogramme der SDS-Page zeigten ein verstärktes Vorhandensein von großen Proteinmolekülen, was bestätigt, dass sich Proteine während der Extrusion zu größeren Einheiten verbinden. Die Extrudate aus kommerziellem Sonnenblumenprotein und geschältem, entfettetem SPK können als Plattformprodukte für Snacks, oder im hydrierten Zustand als Fleischanaloge angesehen werden.

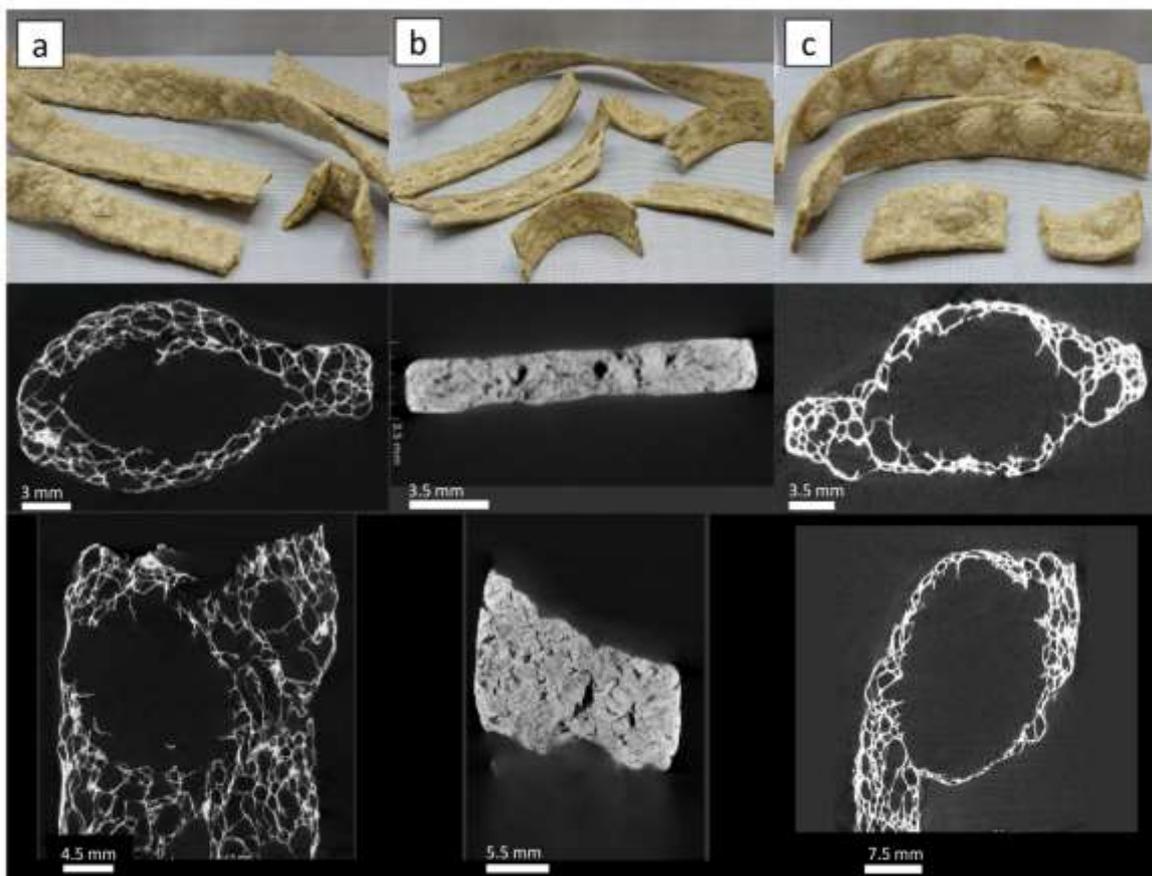


Abbildung 6: Extrudate produziert mit 15 g/100 g Rohstofffeuchte bei 180 °C Extrusionstemperatur aus (a) kommerziellem Sonnenblumenprotein, (b) unbehandeltem SPK und (c) entfettetem SPK; 1. Zeile: Fotos, 2. Zeile: CT-Scans im Querschnitt, 3. Zeile: CT-Scans im Längsschnitt.

Bei der ersten sensorischen Profilprüfung der mit verschiedenen Mikroorganismen fermentierten Aufstriche fanden sich die Attribute "sauer", "Geschmack nach Sonnenblumenkernen", "fermentiert" und "bitter" als passend, um die verschiedenen Proben zu charakterisieren. Bei einer zweiten Prüfung der selben Proben wurden signifikante Unterschiede bezüglich dieser vier Attribute festgestellt. Es zeigte sich jedoch, dass vor allem die Merkmale

"sauer", "Geschmack nach Sonnenblumenkernen" und "fermentiert" mit dem pH der Aufstriche korrelierten. Für den zweiten Teil der sensorischen Untersuchungen wurde deshalb festgelegt, die Fermentation aller Proben bei einem pH von 4,8 zu stoppen und im Anschluss zu untersuchen. Zudem wurden Proben eliminiert, welche im ersten Teil der Sensorik-Studie einen bitteren Geschmack aufwiesen. Außerdem wurde für alle Proben der vom Projektpartner PL etablierte Waschschrift vor der Fermentation eingeführt, welche für eine Reduzierung des bitteren Geschmacks sorgte, wie durch einen Duo-Trio-Test festgestellt wurde. Erneut wurde mit ausgewählten Proben eine Profilprüfung durchgeführt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben hinsichtlich der vier gewählten Attribute gefunden.

In den letzten drei Projektmonaten wurde in intensiver Kooperation mit dem italienischen und dem spanischen Projektpartner eine Konsumentenstudie zur sensorischen Beurteilung durchgeführt. Zur Untersuchung wurde eine unfermentierte Kontrollprobe (in Doppelbestimmung) sowie ein ausschließlich mit Milchsäurebakterien (*Lactococcus lactis*) fermentierter Aufstrich und ein Co-fermentierter Aufstrich (*Lactococcus lactis* und *Saccharomyces cerevisiae*) hergestellt. Vor der sensorischen Untersuchung wurden die in zweifacher Wiederholung produzierten Fermentate umfassend sowohl mikrobiologisch (Mailand, Dresden) als auch in Bezug auf physikalische und chemische Eigenschaften (Dresden) untersucht. Alle Aufstriche wurden zusammen mit einem Cracker gereicht und wurden von den Testpersonen selbst verstrichen. Ein Akzeptanztest der Proben ergab allgemein höhere Werte für die nicht bzw. ausschließlich mit Milchsäurebakterien fermentierten Proben, während der Co-fermentierte Aufstrich aufgrund seiner Streichbarkeit, Textur und Geschmack schlechter bewertet wurde. In den Attributen Farbe und Aroma konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben festgestellt werden. Ein CATA-Test (Check-all-that-apply-Test) zeigte, dass die Textur der Kontrollproben als homogen und streichbar und der Geschmack als leguminosenartig, bitter und adstringierend beurteilt wurde, während die fermentierten Proben als dick und klumpig und der Geschmack als sauer, hefig und milchartig beschrieben wurde.

Um Inventardaten zum Energie- und Ressourcenkauf, zur Menge des Nebenprodukts und zu weiteren Verarbeitungsprozessen von entsprechenden deutschen Unternehmen zu sammeln, wurde ein Fragebogen an insgesamt 176 Molkereien und 108 Ölmühlen gesendet. Um die Frage zu verfolgen, warum Unternehmen Schwierigkeiten haben, innovative Methoden oder Verfahren einzuführen und somit die Möglichkeit verlieren, ihr Portfolio zu erweitern und die von ihnen verursachten Emissionen zu reduzieren, wurde ein zweiter Fragebogen zu Barrieren des organisatorischen Lernens verschickt. Die Unternehmen wurden gebeten, dieses Interview an Mitarbeiter des Unternehmens weiterzuleiten, um so viele Informationen wie möglich zu sammeln. Hier wurden kleine, mittlere und große Unternehmen separat beobachtet, um Vergleiche der Barrieren innerhalb von Unternehmen unterschiedlicher Größe zu ermöglichen. Am Ende wurden zehn vollständig beantwortete Fragebögen zu Hürden eingereicht. Abschließend musste die Hypothese verworfen werden, dass Barrieren zunehmend schwerwiegender werden, je größer das Unternehmen wird. Dennoch wurde beobachtet, dass kleine Unternehmen insgesamt am wenigsten mit Umsetzungsbarrieren zu kämpfen haben, gefolgt von großen Unternehmen und mittleren Unternehmen, die die höchsten Ergebnisse hinsichtlich Hürden aus jeder Quelle aufweisen. In Bezug auf den LCA-Fragebogen haben sieben Molkereien und vier Ölmühlen alle Fragen vollständig beantwortet, doch einige Informationen

wurden als zweifelhaft angesehen, da sie sich anomal von den anderen unterschieden oder unlogisch waren. Daher wurde der Ansatz angepasst, und anstelle einer universellen Bewertung wurde für jedes Nebenprodukt eine Fallstudie durchgeführt. Die Ergebnisse legen nahe, dass beide Verwertungsmethoden weniger CO₂-Äquivalente emittieren als die einfache Verbrennung dieser Materialien. In Bezug auf wirtschaftliche Indikationen zeigte nur die weitere Verarbeitung von Molke zu Protein- und Laktosepulver Vorteile gegenüber dem Basisszenario. Da die Antwortrate des Fragebogens gering war, wird für zukünftige Forschungen empfohlen, direkt mit einer wirtschaftlich orientierten Einrichtung zusammenzuarbeiten. Dies würde auch detailliertere Informationen über Maschinen und Ressourcenzuweisung liefern. Da eine Vielzahl von Annahmen und Schätzungen benötigt wurde, um die Bewertungen durchzuführen, müssen die Ergebnisse sorgfältig interpretiert werden. Dennoch geben sie einen Hinweis darauf, dass die Verarbeitung von Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie anstelle ihres einfachen Entsorgens ökologische und möglicherweise wirtschaftliche Vorteile bietet.

In Arbeitspaket 5 wurde die Organisation von Projekttreffen, Online-meetings, die Erstellung einer Homepage sowie Online-Vorträge und Newsletter für die Stakeholder koordiniert und realisiert. Die Homepage (<https://ferblend.webspace.tu-dresden.de>) diente der Darstellung des Projektplans, der Vorstellung der Projektpartner und der Übersicht über aktuelle Neuigkeiten sowie Veröffentlichungen.

In regelmäßigen Projekttreffen wurde über bisherige Ergebnisse in den einzelnen Arbeitspaketen und über das weitere Vorgehen diskutiert. Über die gesamte Projektlaufzeit fanden 4 Präsenz-Meetings und 6 Online-Meetings statt:

- Kick-off meeting: 16.10.2020
- Online meeting: 17.12.2020
- Online meeting: 15.06.2021
- 1. Projektmeeting in Mailand: 11.-12.10.2021
- Online meeting: 02.02.2022
- 2. Projektmeeting in Aarhus: 30.-31.05.2022
- Stakeholder meeting online: 21.07.2022
- Online meeting: 09.12.2022
- 3. Projektmeeting in Wroclaw: 18.04.2023
- Stakeholder meeting online: 18.07.2023
- Online meeting: 25.10.2023
- 4. Projektmeeting in Dresden: 07.-08.03.2024

Zusätzlich fanden auch eine Reihe von individuellen Online-Meetings für Absprachen mit einzelnen Projektpartnern statt. Für die Stakeholder wurden zwei Webinare durchgeführt sowie ein Newsletter verschickt.

5 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Untersuchung der verschiedenen SPK mit unterschiedlichem Schalenanteil stellte sich heraus, dass aufgrund von Farbe und Zusammensetzung Presskuchen mit hohem Schalenanteil nicht direkt für den Einsatz in Lebensmitteln geeignet sind. Mit der Lösungsmittlextraktion und der Trockenfraktionierung wurden schonende Methoden etabliert, die den Proteingehalt der SPK aus ungeschälten Sonnenblumenkernen deutlich erhöhen konnten. Durch den bewussten Verzicht auf umweltschädliche Chemikalien und hohe Temperaturen konnten die technofunktionellen Eigenschaften des behandelten SPK erhalten oder sogar verbessert werden. Gleichzeitig waren die genutzten Verfahren energieärmer und umweltschonender als herkömmliche Methoden zur Proteinextraktion aus pflanzlichen Rohstoffen.

Aufgrund des höheren Proteingehaltes und positiver technofunktioneller Eigenschaften wurde SPK aus geschälten Kernen für die Herstellung der Plattformprodukte genutzt. Bei der Extrusion von SPK aus ungeschälten Kernen fand aufgrund des niedrigen Protein- und hohen Ballaststoffgehaltes keine Texturierung bzw. Expansion statt. Außerdem wurden bisher nur Rohstoffe ohne den Zusatz von Molke und ohne vorangegangene Fermentation extrudiert. Um dies umzusetzen, könnten SPK/Molke-Mischungen fermentiert, anschließend getrocknet und dann extrudiert werden. Durch das Vorhandensein von Laktose, Säure und durch den geringeren Proteingehalt würde sich der fermentierte Rohstoff bei der Extrusion vermutlich anders verhalten und gegebenenfalls müssten die Extrusionsparameter angepasst werden.

Die Herstellung von Plattformprodukten in Form von fermentierten Getränken und Aufstrichen auf Basis von geschältem SPK und Süßmolke war erfolgreich. Der Fokus bei der Entwicklung der Produkte lag vor allem auf der Textur und physikalischen Stabilität der Produkte. Den Geschmack der Plattformprodukte gilt es weiter zu optimieren, zum Beispiel durch den Einsatz anderer Mikroorganismen, insbesondere Hefen, oder durch den Zusatz weiterer Zutaten wie Gewürze oder Fruchtauszüge. Bei der Optimierung des Aromas sollte besonderes Augenmerk auf die Bitterkeit gelegt werden, welche durch bestimmte Peptide und Polyphenole im SPK oder auch durch Mikroorganismen entsteht.

Die Generierung von Daten im Rahmen der LCA erwies sich als schwierig, da nur ein geringer Anteil der kontaktierten Unternehmen zur Angabe von Informationen bereit war. Dennoch wurde festgestellt, dass die Aufbereitung der Nebenprodukte ökonomisch vorteilhafter ist, gegenüber der Verbrennung des Materials.

6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Projekt FERBLEND hatte zum Ziel, Plattformprodukte aus Mischungen von entsprechend vorbehandeltem Sonnenblumenpresskuchen und Molke zu entwickeln und, falls erforderlich, technologische Wege der Nachbehandlung zur besseren Umsetzbarkeit aufzuzeigen. Grundsätzlich dienen diese Plattformprodukte daher der Demonstration der Machbarkeit in Systemen mit unterschiedlicher Zielsetzung. Es konnte gezeigt werden, dass flüssige, halb feste und feste Produkte für den nachfolgenden Einsatz zum Beispiel als wertgebende Zutat in Ziellebensmitteln erzeugt werden können. Die Plattformprodukte wurden sensorisch analysiert,

um den Einfluss der in den Prozessweg inkludierten Co-Fermentationen mit speziellen, ausgewählten Kombinationen von Hefen und Milchsäurebakterien auf das Aroma- und Geschmacksprofil zu bewerten. Dieses Wissen kann daher als Basis für weitere Produktentwicklungen angesehen werden. Die im Projekt generierten Ergebnisse sind aber nicht in direkter Konsequenz praxisrelevant, da der Schritt der Entwicklung zu finalen Produkten nicht Teil des Projektes war. Es können daher keine direkten Empfehlungen für die Unternehmen gegeben werden.

Hingegen konnte das Potential der Weiterverarbeitung der beiden Nebenströme erfolgreich demonstriert werden. Im nächsten Schritt müsste der Weg zur konkreten Umsetzung in Unternehmen in direkten Kooperationsprojekten betrachtet werden. Dabei sollten auch Projektpartner aus den verschiedenen Branchen zusammengebracht werden, um die Kombination der Nebenströme zielgerichtet zu realisieren und ein besonderer Fokus auf Regionalität gelegt werden um lange Transportstrecken der Nebenprodukte zu vermeiden. FERBLEND bietet also die Möglichkeit, Projekte mit einem höheren TRL anzuschließen. Die Forschungsergebnisse der Projekts FERBLEND sind in zahlreichen Publikationen in Fachzeitschriften publiziert und wurden in großem Umfang auf nationalen und internationalen Fachtagungen präsentiert. Das Wissen ist also bereits einem großen Publikum zugänglich gemacht worden, und die Ergebnisse können von Interessierten ohne Hürden in den Open-Access-Publikationen nachgelesen werden.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Ziel von Arbeitspaket 1 war die Vorbehandlung der Rohstoffe für die anschließende Fermentation. Das Arbeitspaket beinhaltete auch die Untersuchung von Zusammensetzung und technofunktionellen Eigenschaften verschiedener Rohstoffe. SPK wiesen deutliche Unterschiede in Zusammensetzung und Eigenschaften auf und eignen sich daher nicht in gleichen Maß für die Fermentation bzw. die Herstellung von Plattformprodukten. Dennoch konnte durch die Vorbehandlungsmethoden der Lösungsmittelextraktion und der Trockenfraktionierung der Proteingehalt der SPKs erhöht und die technofunktionellen Eigenschaften verbessert werden. Weitere Versuche werden sich mit der Fermentation dieser vorbehandelten SPKs widmen, welche bisher noch nicht für die Herstellung der Plattformprodukte genutzt wurden.

Ziel von Arbeitspaket 2 war die Fermentation von SPK/Molke-Mischungen. Mit einer ausgewählten Kombination aus Milchsäurebakterien und Hefen konnten Medien basierend auf SPK aus geschälten Sonnenblumenkernen und rekonstituierter Süßmolke fermentiert werden. Medien mit SPK-Konzentrationen zwischen 5 und 22,5 g/100 g konnten innerhalb von 24 h erfolgreich auf den erforderlichen pH gesäuert werden.

Ziel von Arbeitspaket 3 war die Analyse von Zusammensetzung, Textur, rheologischen und physikalischen Eigenschaften der fermentierten Mischungen. Dafür wurden angepasst an die Art des Produktes (halbfest oder flüssig) unterschiedliche Methoden etabliert und genutzt.

Arbeitspaket 4 diente der Entwicklung von fermentierten Plattformprodukten aus SPK und Molke, beispielsweise fermentierte Getränke, halbfeste Aufstriche oder Snacks. In allen drei Kategorien

konnten aus SPK aus geschälten Sonnenblumenkernen Plattformprodukte hergestellt werden. Für die Erzeugung von halbfesten und flüssigen Produkten mit hoher physikalischer Stabilität und positiven Textureigenschaften wurden zudem Methoden zur enzymatischen Behandlung und Hochdruckhomogenisation eingesetzt. Die halbfesten fermentierten Aufstriche wurden zusätzlich hinsichtlich ihrer sensorischen Eigenschaften untersucht. Die Herstellung von Extrudaten als Snackprodukte erfolgte ohne vorherige Fermentation des SPK und ohne den Einsatz von Molke. In weiterführenden Versuchen soll die Möglichkeit der Trocknung von fermentierten SPK/Molke-Mischungen untersucht werden. So könnte ein fermentiertes Pulver erzeugt werden, welches anschließend direkt in Snack-Produkten eingesetzt oder als Rohstoff für die Extrusion genutzt werden kann.

In der umweltökonomischen Betrachtung wurde beobachtet, dass kleine Unternehmen insgesamt am wenigsten mit den eingeschlossenen Barrieren zu kämpfen haben, gefolgt von großen Unternehmen und mittleren Unternehmen, die die höchsten Ergebnisse hinsichtlich Hürden aus jeder Quelle aufweisen. Es wird empfohlen, dieses Phänomen bei zukünftigen Beobachtungen gezielt zu berücksichtigen, um nach Gründen zu suchen, warum mittelständische Unternehmen scheinbar am meisten Schwierigkeiten mit der Einführung von Neuheiten haben.

Das fünfte Arbeitspaket umfasste die organisatorischen Tätigkeiten rund um das Projekt, welche die Organisation von Meetings, sowie die Verbreitung des Projektes, z.B. in Form von Stakeholder-Newsletter und -Meetings einschloss.

8 Zusammenfassung

Sonnenblumenpresskuchen (SPK) zeigte sich als wertvolles Nebenprodukt mit Potenzial zur Verarbeitung in fermentierten und unfermentierten Plattformprodukten. Die Untersuchung von 5 verschiedenen SPK sowie eines Sonnenblumenschrotes zeigte einen deutlichen Einfluss der Verarbeitungsparameter beim Pressen auf die Zusammensetzung und technofunktionellen Eigenschaften des SPK. SPK aus geschälten Saaten wies den höchsten Proteingehalt auf und wurde überwiegend für die Fermentation und Entwicklung von Plattformprodukten genutzt. Der Proteingehalt von Schalen enthaltendem SPK konnte mittels Lösungsmittelextraktion bzw. Trockenfraktionierung zur Schalenabtrennung erhöht werden.

Die Herstellung eines festen Plattformproduktes aus kommerziellem Sonnenblumenprotein bzw. entfettetem SPK aus geschälten Sonnenblumenkernen wurde mittels low-moisture Extrusion durchgeführt. Dabei entstanden Produkte, die als Basis für Snackprodukte bzw. in hydrierter Form als Fleischanaloge genutzt werden können.

Die Co-Fermentation von SPK unter Zugabe von Molke mit Milchsäurebakterien und Hefen konnte erfolgreich durchgeführt werden. Je nach SPK-Konzentration im Fermentationsmedium wurden flüssige bzw. halbfeste Plattformprodukte hergestellt. Diese wurden mittels Enzymen, insbesondere Proteasen, und Hochdruckhomogenisation behandelt, um Stabilität und Textur der Produkte zu verbessern. Die erzeugten Plattformprodukte können als Grundlage zur Entwicklung von Getränken oder Aufstrichen dienen.

9 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Schriftliche Veröffentlichungen

Raak N, Struck S, Jaros D, Hernando I, Gulseren I, Michalska-Ciechanowska A, Foschino R, Corredig M, Rohm H (2022) Blending side streams. A potential solution to reach a resource efficient, circular, zero-waste food system. *Future Foods* 6, 100207, doi: 10.1016/j.fufo.2022/100207

Morejon-Caraballo S, Rohm H, Struck S (2023) Green solvents for deoiling pumpkin and sunflower press cake: Impact on composition and technofunctional properties. *International Journal of Food Science and Technology* 58, 1931-1939, doi: 10.1111/ijfs.16335

Morejón Caraballo S, Fischer S V, Masztalerz K, Lech K, Rohm H, Struck S, Low moisture texturized protein from sunflower press cake. (submitted 2024)

Morejón Caraballo S, Rohm H, Struck S, Composition and technofunctional properties of sunflower press cake. (in Arbeit)

Morejón Caraballo S, Trültzsch S, Rohm H, Struck S, Dry fractionation as a method to derive protein-rich powders from sunflower press cake. (in Arbeit)

Morejón Caraballo S, Rohm H, Struck S, Foschino R, Hernando I, ..., Sensory properties of fermented blends from sunflower press cake and sweet whey. (in Arbeit)

Vorträge, Poster

Morejón Caraballo S, Sert D, Struck S, Rohm H (2021) Effects of solvent extraction on nutritional and technofunctional properties of pumpkin and sunflower press cake. *EFFoST 35th International Conference*, Lausanne (Poster)

Morejón Caraballo S, Rataj L, Nachemson Ekwall S, Struck S, Rohm H (2022) Influence of homogenisation on stability and rheology of press cake-whey dispersions for fermentation. *2nd NIZO Plant Protein Functionality Conference*, online (Poster)

Morejón Caraballo S., Nachtigall C., Struck S., Jaros D., Rohm H. (2023) Wertschöpfung aus Koppelprodukten der Lebensmittelindustrie durch Fermentation. *Bioökonomie Werkstatt Sachsen*, 6 September 2023, Sohland, Germany (Talk)

Morejón Caraballo S., Fischer S., Rohm H., Struck S. (2023) Extrusion-based texturizing of sunflower press cake. *NextGen Proteins Conference*, 7-8 September 2023, Bremerhaven, Germany (Talk)

Morejón Caraballo S., Rohm H., Struck S. (2023) Texture modification of fermented spreads based on sunflower press cake and sweet whey. *EFFoST International Conference 2023*, 6-8 November 2023, Valencia, Spain (Poster)

Morejón Caraballo S, Trültzsch S, Rohm H, Struck S (2024) Trockenfraktionierung von Sonnenblumenpresskuchen zur Proteianreicherung. GDL Kongress Lebensmitteltechnologie, Lemgo (eingereicht)

Morejón Caraballo S, Rohm H, Struck S (2024) Aufwertung von Nebenprodukten der Öl- und Käseherstellung mittels Fermentation. GDL Kongress Lebensmitteltechnologie, Lemgo (eingereicht)

Projektbegleitende Maßnahmen

- Newsletter an projektbegleitendes Konsortium (Firmen, NGOs), Januar 2021
- Teilnahme an PROVIDE Stakeholder Meeting, Vorstellung von FERBLEND (online, November 17, 2021)
- Online Stakeholder Meeting mit Ergebnisbericht zum Projektfortschritt (online, July 21, 2022)
- Online Stakeholder Meeting mit Ergebnisbericht zum Projektfortschritt (online, July 18, 2023)
- Newsletter an projektbegleitendes Konsortium (Firmen, NGOs), in Vorbereitung