

Nutzbarmachung von Nebenströmen für Lebensmittel

White Paper

Einleitung

Entlang der gesamten Lebensmittelwertschöpfungskette enden erhebliche Mengen an Lebensmitteln als Verlust oder Abfall. Dies stellt nicht nur ein Ressourcenproblem dar, sondern auch ein ökologisches und wirtschaftliches – und darüber hinaus eine moralische Herausforderung für die moderne Gesellschaft.

In Europa entfallen bis zu 42 % der Lebensmittelabfälle auf Haushalte, 14 % auf den Lebensmittelsektor (zubereitete Speisen, Catering und Restaurants) und 39 % auf die Lebensmittelindustrie, während 5 % entlang der Vertriebskette verloren gehen (landwirtschaftliche Verluste sind in dieser Schätzung nicht enthalten) ^[1]. Eine ähnliche Situation zeigt sich auch in der Schweiz: Hier wird die jährliche Lebensmittelverschwendung auf 2.8 Millionen Tonnen geschätzt, wobei 20 % auf landwirtschaftliche Verluste, 28 % auf Haushalte, 7 % auf die Gastronomie, 35 % auf die Lebensmittelindustrie und 10 % auf den Einzelhandel entfallen ^[2]. ^[2]. Im Gegensatz zu den europäischen Zahlen sind hier an Tiere verfütterte Lebensmittel-Überschüsse und -Nebenprodukte ebenfalls inbegriffen, da auch sie einen Ressourcenverlust darstellen.

Die Nebenströme der Lebensmittelverarbeitung, das heisst alle essbaren Produktströme, die neben den eigentlichen Zielprodukten entstehen, stellen ein großes Potenzial zur Wertschöpfung dar, weil sie in sehr großen Mengen und oft in homogener Form anfallen und zahlreiche wertvolle Inhaltsstoffe und Bausteine enthalten.

Derzeit werden die Nebenströme der Lebensmittelindustrie in der Schweiz immer noch zu einem grossen Teil für niedrigwertige Anwendungen genutzt, etwa als Tierfutter, für die Biogasproduktion oder zur Kompostherstellung. Ein Teil wird auch verbrannt. Obwohl die in der Schweiz anfallenden Nebenströme detailliert untersucht und in den einzelnen Sektoren quantifiziert wurden, wurden bisher keine koordinierten Maßnahmen zur Verwertung dieser Ströme ergriffen.

Um das nachhaltige Entwicklungsziel (SDG) 12 der Vereinten Nationen – „*Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen*“ – und insbesondere Ziel 12.3 – „*Die weltweite Lebensmittelverschwendung pro Kopf auf Einzelhandels- und Verbraucherebene halbieren und die Lebensmittelverluste entlang der Produktions- und Lieferketten einschließlich Nachernteverlusten verringern*“ – in der Schweiz zu erreichen, müssen Maßnahmen zur Valorisierung der Nebenströme und Reduzierung der Lebensmittelverluste ergriffen werden.

Zahlreiche Akteure im Lebensmittelsektor sind bestrebt, Nebenströme in die Lebensmittelwertschöpfungskette zurückzuführen und so die Ressourceneffizienz der Verarbeitung zu steigern. Die Wertschöpfung solcher Nebenströme erfordert jedoch Forschung und Entwicklung, um potenzielle Verwertungswege und Anwendungen zu identifizieren und diese Ströme für die Entwicklung neuer, hochwertiger Produkte zu nutzen.

In diesem Bericht werden Erkenntnisse aus zwei grossen Forschungsprojekten der ZHAW zur Nutzung von Nebenströmen (VALISS, finanziert durch die Avina Stiftung sowie FiberSustain, finanziert durch Innosuisse, Projekt 112.559 IP-LS) dargestellt und mit Daten aus der Literatur verglichen.

Impressum:**Veröffentlichungsdatum:** 5.1.2026**Veröffentlichungsort:** www.zhaw.ch/cirvalis**Autorenschaft:** ZHAW, Institut für Lebensmittel- und Getränkeinnovation, Forschungsgruppe Lebensmitteltechnologie, Projektteam Cirvalis**Kontakt:** knowledge-hub@zhaw.ch**Finanzierung:** Wir danken der Seedling Foundation für die Finanzierung des Projektes Cirvalis, der Avina Stiftung für die Finanzierung des Projektes VALISS und Innosuisse für die Finanzierung des Projektes FiberSustain 112.559 IP-LS.**Disclaimer:** Alle Inhalte wurden mit grösstmöglicher Sorgfalt erstellt. Texte, Abbildungen und Daten unterliegen dem Urheberrecht. Die Verwendung oder Vervielfältigung ist nur mit Quellenangabe gestattet. Wo nicht anders genannt, steht dieses Werk unter der Lizenz [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	2
1. Relevanz von Nebenströmen	5
2. Beschreibung der Nebenströme.....	8
2.1. Definition und Entstehungsweise	8
2.2. Abbildungen der Nebenströme.....	9
3. Charakterisierung der Nebenströme	11
3.1 Technofunktionelle Eigenschaften	11
3.2 Nährwert.....	12
3.3 Kontaminanten und weitere Herausforderungen	14
3.4 Weitere Herausforderungen.....	17
4. Novel Food Abklärungen	19
5. Entscheidungsbäume Nebenstrom-Valorisierung	21
6. Anwendungsbeispiele.....	24
6.1. Granola mit Kaffeenebenströmen	24
6.2. 'Schokolade' mit Kakaobohnenschalen.....	24
6.3. Fleischersatzprodukte mit Biertreber und Gerstenmalzwürzelchen.....	25
6.4. Weiteres Anwendungspotential	27
7. Schlussfolgerungen	28
8. Literaturliste	29

1. Relevanz von Nebenströmen

Weltweit gehen jedes Jahr rund 3 Milliarden Tonnen Lebensmittel entlang der Lieferkette verloren oder werden verschwendet, was erheblich zu Umweltbelastungen und ineffizienter Ressourcennutzung beiträgt ^[3–5]. In der Schweiz belaufen sich die Lebensmittelverluste und -verschwendungen auf 2.8 Millionen Tonnen pro Jahr, wobei etwa ein Drittel während der Verarbeitung entsteht^[2].

Auf Basis von Literatur- und Marktdaten wurde eine Vielzahl an Schweizer Lebensmittelnebenströmen quantifiziert (Daten auf Wunsch verfügbar) und eine Auswahl von besonders relevanten Nebenströmen getroffen. Die wichtigsten Selektionskriterien waren dabei die folgenden:

- Menge an Nebenstrom, die pro Jahr in der Schweiz anfällt (in t Trockensubstanz pro Jahr)
- Umweltbelastungspunkte UBP, die durch die Verwendung der Nebenströme als Lebensmittel (ohne weitere Verarbeitungsschritte) gegenüber ihrer aktuellen Verwertung schätzungsweise eingespart werden können (in 1000 UBP/Person/Jahr)
- Prozentualer Anteil des Nebenstroms bezogen auf das Rohmaterial (% Feuchtgewicht)

Folgende Daten waren dabei nicht verfügbar:

- Menge an Nebenstrom in der Schweiz: Fleischindustrie, Walnuss, Haselnuss, Kastanie,
- UBP: Biernebenströme, Getreidenebenströme (für letzteres wurde auf die UBP von Brot und Backwaren ausgewichen).

Für diese 3 Kriterien wurden jeweils Ranglisten der Nebenströme erstellt (Tabelle 1), wobei die Reihenfolge der Nebenströme je nach gewähltem Kriterium unterschiedlich ist. In jeder Kategorie bedeuten hohe Werte eine höhere Dringlichkeit der Nutzbarmachung:

- eine hohe Menge an jährlich anfallendem Nebenstrom zeigt die Wichtigkeit einer Nutzbarmachung sowie die hohe Verfügbarkeit des Nebenstromes,
- eine hohe Umweltbelastung pro t bedeutet, dass ein besonders grosser Umweltnutzen durch eine Nutzbarmachung erreicht werden kann und
- der hohe Anteil des Nebenstromes am Rohmaterial zeigt, wie stark unternutzt ein Rohmaterial ist.

Tabelle 1: In der Schweiz höchst gewertete Nebenströme bezüglich Menge Nebenstrom pro Jahr in CH, verursachte Umweltbelastungspunkte pro Person und Jahr, prozentualer Anteil Nebenstrom bezogen auf Rohmaterial in % des Feuchtgewichtes. Quellen: Projekt VALISS, ZHAW, <https://www.zhaw.ch/de/forschung/projekt/73508>). TM = Trockenmasse, a = Jahr, p=Person, UBP = Umweltbelastungspunkte, FM = Feuchtmasse.

Nebenstrom	Menge [t TM / a]	Nebenstrom	UBP [1000 UBP/p/a]	Nebenstrom	Anteil am Rohmaterial [% FM]
Kaffeesatz	132'444	Knochen, Hufe, Horn	78	Kaffeesatz	91
Zuckerrübenpulpe	100'000	Molke	63	Molke	82
Bierhefeselement / Fermentations- reste	90'000	Weizennebenströme (Kleie, Nachmehl, Kornspreuer, Gluten)	32	Sojapresskuchen	80
Molke	78'000	Andere Getreidenenbenströme (Roggenschale, Haferkleie)	32	Walnussschalen	67
Rapspress- kuchen	52'903	Schweineknöchen	25	Rapspresskuchen	66
Kartoffelschalen	49'320	Buttermilch	11	Haselnussschalen	53
Weizenkleie	45'244	Huhnnebenströme (Federn, Knochen, Haut, Blut)	10	Buttermilch	50
Traubentrester	44'955	Kaffeenebenströme (Kaffeesatz, Kaffeessilberhaut)	9	Haferkleie	50
Molasse	31'237	Kakaonebenströme (Schale)	9	Traubentrester	45
Weizennachmehl	23'264	Ölsaatenpresskuchen (Soja, Raps, Sonnenblumen, Leinsamen)	6.1	Sonnenblumenpress- kuchen	36
Süssmaiskolben- spindel	21'750	Brucheier	4.7	Birnentrester	34
Kaffeessilberhaut	18'418	Nussschalen	4.1	Biertreber	31
Biertreber	17'600	Zuckermelasse und Zuckerrübentrester	2	Pilzstiele	29
Bierhefereste	16670	Reiskleie	2	Roggenschale	28
Buttermilch	15730	Gemüsetrester und - schalen	1.7	Karottentrester	28
Kakaobohnen- schalen	15001	Pilzstiele	1.7	Apfel- und Traubentrester	25
Traubentrester	11238	Kartoffelschalen	1.5	Maiskolben	18
Gerstenmalz- würzelchen	6096			Hirsenschale	15
				Karottentrester	13
				Gelberbsenschalen	12
				Getreidekleie (Weizen, Reis)	10-15
				Kastanienschalen	10
				Kartoffelschalen	8

¹ Umweltbelastungspunkte UBP = Einheit zur Messung der Umweltauswirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung über seinen gesamten Lebenszyklus, von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung. Sie fassen verschiedene Umweltbelastungen wie CO₂-Emissionen, Ressourcenverbrauch oder Schadstoffe in einer einzigen Zahl zusammen: Je höher die UBP, desto grösser die Belastung.^[6]

Basierend auf einer gewichteten Bewertung (Details auf Anfrage verfügbar) der 3 Kriterien plus Zusatzkriterien wie Nährwertzusammensetzung, Limitierungen (Kontaminanten, Toxine), Saisonalität & Lagerfähigkeit, etc., welche hier nicht aufgeführt sind, wurde eine repräsentative Auswahl von Nebenströmen getroffen. Ergänzend wurde darauf geachtet, von einer Klasse an Nebenströmen (z.B. Fruchtkerne) nur einen Nebenstrom zu wählen (z.B. Aprikosenkerne). Im Falle der Milchnebenströme wurde entgegen der oben genannten Kriterien Buttermilch statt Molke gewählt, da Molke bereits sehr gut valorisiert wird. Ausgeschlossen wurden Nebenströme der Fleischindustrie, da in den Techniken der Forschungsgruppe aus Hygienegründen bewusst nicht mit Fleisch gearbeitet wird.

13 Nebenströme wurden auf dieser Basis ausgewählt. Ergänzend sind Untersuchungen zweier weiterer Nebenströme (Apfeltrester, Gelberbsenschalen) aus dem Innosuisse Projekt FiberSustain, welches sich mit faserreichen Nebenströmen befasste, in diesem Whitepaper inkludiert. Die 15 untersuchten Nebenströme sind in Tab. 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Final ausgewählte Nebenströme, die in diesem Whitepaper berücksichtigt wurden.

Apfeltrester	Aprikosenkerne	Biertreber	Buttermilch	Gerstenmalzwürzelchen
Gelberbsenschalen	Kakaobohnenschalen	Kaffeesatz	Kaffeesilberhäutchen	Kartoffelschalen
Pilzstiele	Rapspresskuchen	Traubentrester	Weizenkleie	Zuckerrübenschnitzel

2. Beschreibung der Nebenströme

2.1. Definition und Entstehungsweise

Tabelle 3 erläutert die Entstehungsweise der ausgewählten Nebenströme. Das Verständnis, welcher Verarbeitungsweg zum Nebenstrom geführt hat, ist einerseits wichtig, um zu evaluieren, ob sich Nebenströme durch eine angepasste Verarbeitung verhindern liessen und andererseits, um zu verstehen, welche mögliche Vorbelastung (z.B. thermische Belastung, Aktivierung oder Inaktivierung von mikrobiellen Prozessen, Zugabe von Prozesshilfsstoffen) der Nebenstrom durch die Verarbeitung erfahren hat.

Tabelle 3: Herkunft und Entstehungsweise ausgewählter Nebenströme

Nebenstrom	Herkunft
Apfeltrester	Beim Pressen von Apfelsaft bleiben das Kerngehäuse, Zellmembranen und Schale in Form von Apfeltrester übrig.
Aprikosenkerne	Bei der Verarbeitung von Aprikosen und anderen Steinfrüchten zu Pulpe, Saft, Konfitüre u.ä. bleiben die Steine zurück, welche essbare Kerne enthalten. ^[7]
Biertreber	Biertreber entsteht beim Bierbrauen nach dem Einmaischen, wenn im Läuter-Schritt die flüssige Würze vom Feststoff abgetrennt wird. ^[8]
Buttermilch	Bei der Herstellung von Butter wird Rahm kräftig geschüttelt/gerührt, bis sich durch eine Phasenumkehrung Butterkörner von der Flüssigkeit trennen. Nach Abtrennen der Butterkörner bleibt die Buttermilch als Nebenstrom übrig. ^[9]
Gelberbsenschale	Für die Herstellung von Gelberbsen-Splits sowie als Rohmaterial für die Herstellung von Erbsenprotein werden Gelberbsen in einem ersten Verarbeitungsschritt geschält, wobei die Schalen als Nebenstrom anfallen.
Gerstenmalzwürzelchen	Gerstenmalzwürzelchen sind ein Nebenstrom des Mälzereiprozesses. Gerste wird eingeweicht und gekeimt, bis Würzelchen in gewünschter Länge gewachsen sind. Diese Würzelchen werden während des Mälzens von der gemälzten Gerste abgetrennt und fallen als Nebenstrom an. ^[10]
Kaffeesatz	Bei der industriellen Herstellung von ready-to-drink und Instantkaffee werden grosse Mengen an Kaffeebohnen vermahlen, in heissem Wasser aufgebrüht und der Extrakt separiert. Dabei entsteht Kaffeesatz als Nebenstrom, welcher ca. 65% der Kaffeebohnenmasse ausmacht. ^[11]
Kaffeesilberhaut	Die Kaffeesilberhaut löst sich beim Rösten von Kaffee von der Kaffeebohne. Sie macht etwa 4.2% der Kaffeebohnenmasse aus. ^[12]
Kakaobohnenschale	Kakaobohnenschale macht rund 10-20% der Kakaobohnenmasse aus und besteht aus den faserreichen äusseren Schichten der Kakaobohne, welche nach dem Rösten von den Kakaobohnen separiert wird. ^[13]
Kartoffelschalen	Die Kartoffelverarbeitung beginnt mit dem Waschen und Schälen. Der Schälprozess kann durch Dampf, Lauge oder physikalische Methoden durchgeführt werden, wobei ein physisches Schälen in der Chipsherstellung am gebräuchlichsten ist. Die Herstellung von Chips, Pommes Frites und Rösti aus geschälten Kartoffeln führt zu Schalenabfall von 15-40% der Gesamtmasse. ^[14]
Pilzstiele	Essbare Pilze wie <i>A. bisporous</i> werden kommerziell auf Substraten wie Sägemehl oder Nebenströmen des Ackerbaus angebaut, welche Zellulose, Hemizellulose und Lignin enthalten. Nach dem Schneiden der

	Pilze verbleiben Pilzabschnitte im Substrat, welche sich schlecht oder gar nicht von den Pilzstielen abtrennen lassen. ^[15]
Rapspresskuchen	Rapspresskuchen entsteht während der mechanischen Extraktion von Öl aus Rapssamen durch Pressen. ^[16]
Traubentrester	Beim Pressen von Trauben bleiben die Kerne, Stiele und Schalen als Traubentrester zurück. Bei roten Trauben wird das Pressen nach der Fermentation, bei weissen Trauben vor der Fermentation durchgeführt. Typischerweise macht Traubentrester 20-25% der Traubenmasse aus. ^[17]
Weizenkleie	Weizenkleie entsteht während der Verarbeitung von Weizen zu Mehl und besteht aus den äusseren, Nahrungsfaser- und Spurenelement-reichen Schichten des Korns, die vom weissen Teil (Endosperm) abgetrennt werden. Neben Perikarp und Testa geht auch der proteinreiche, äusserste Teil des Endosperms, die sogenannte Aleuronschicht, grossteils in die Kleie. ^[18]
Zuckerrübenpulpe	Bei der Extraktion von Zucker aus Zuckerrüben werden die Zuckerrüben gewaschen, gehackt und der Zucker extrahiert. Zurück bleibt faserreiches Material, die sogenannte Pulpe. ^[19]

2.2 Abbildungen der Nebenströme

Die verschiedenen Nebenströme sind bildlich in Abb. 1 festgehalten.



Apfeltrester



Aprikosenkerne



Biertreber



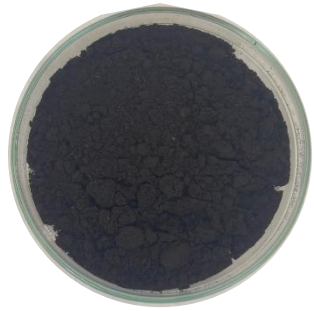
Buttermilch (getrocknet)



Gelberbsenschalen



Gerstenmalzwürzelchen



Kaffeesatz



Kaffeesilberhaut



Kakaobohnenschalen



Kartoffelschalen (aufgetaut)



Pilzstiele (aufgetaut)



Rapspresskuchen (gemahlen)



Traubentrester



Weizenkleie (vermahlen)



Zuckerrübenpulpe

Abb. 1: Abbildungen der Nebenströme

3. Charakterisierung der Nebenströme

Die Nebenströme wurden charakterisiert, um ihre Anwendungsmöglichkeiten besser einzuschätzen und Chancen wie auch Risiken zu identifizieren. Wichtig für die technologische Verarbeitung sowie die Endproduktqualität sind dabei die technofunktionellen Eigenschaften eines Lebensmittels, die Ernährungseigenschaften und sicherheitsrelevante Aspekte wie Kontaminanten und die Prüfung der gesetzlichen Vorgaben.

3.1 Technofunktionelle Eigenschaften

Alle Nebenströme wurden auf <200 µm vermahlen (Retsch SR300, Siebgrösse 200 Mikrometer) und bezüglich ihrer Schäumbarkeit, Emulgierfähigkeit, Wasserabsorption sowie Wasser- und Ölhaltekapazität untersucht. Tabelle 4 zeigt auf, wie stark ausgeprägt welche Eigenschaften bei welchen Nebenströmen sind.

Tabelle 4: Heatmap der technofunktionellen Eigenschaften der untersuchten Nebenströme. Bedeutung der Ausprägungen: gering = entsprechende technofunktionelle Eigenschaft wurde nur in geringem Mass nachgewiesen, exzellent = entsprechende technofunktionelle Eigenschaft wurde in hohem Mass nachgewiesen.

Nebenstrom	Schäumbarkeit	Emulgierfähigkeit	Wasserhaltekapazität	Ölhaltekapazität	Wasserabsorption
Apfeltrester	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Aprikosenkerne	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Biertreber	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Buttermilch	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Gelberbsenschalen	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Gerstenmalzwürzelchen	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Kaffeesatz	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Kaffeesilberhaut	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Kakaobohnenschale	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Kartoffelschalen	Exzellent	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Pilzstiele ¹	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Rapspresskuchen	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Traubentrester	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Weizenkleie	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Zuckerrübenpulpe	Exzellent	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Legende	Gering	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Keine Daten

¹ Pilzstiele wurden von den Untersuchungen ausgeschlossen, da es technisch nicht möglich war, Substrat und Pilzstiele zu separieren und zu wenig vermahlenes, gereinigtes Material für eine Bestimmung der technofunktionellen Eigenschaften hergestellt werden konnte.

Im Hinblick auf die Schaumbildung zeigten nur Kartoffelschalen unter den Testbedingungen eine starke Schaumbildung. Die höchste Emulgierfähigkeit wiesen Gerstenmalzwürzelchen, Kaffeesilberhäutchen und Traubentrester auf. Dieses Ergebnis ist nur für den getesteten Vermahlgrad gültig, da durch eine Feinstvermahlung in den Bereich von 10 – 30 Mikrometern eine Partikelstabilisierung von Grenzflächen ermöglicht würde, welche das Schäum- und Emulgierverhalten positiv beeinflussen würde ^[20].

Die höchste Wasserhaltekapazität wurde bei Apfeltrester, Kartoffelschalen und Zuckerrübenschnitzeln festgestellt, während die Ölhaltekapazität bei vielen Nebenströmen relativ hoch war und für Zuckerrübenpulpe hoch war. Die Wasseraufnahme war sehr hoch bei Apfeltrester, Gerstenmalzwürzelchen, Kartoffelschalen und Zuckerrübenschnitzeln und relativ hoch bei Gelberbsenschalen, Rapspresskuchen und Weizenkleie.

Diese technofunktionellen Profile sind nicht als positiv oder negativ zu werten, da gewünschte Eigenschaften stark von der Endprodukthanwendung abhängen. Die technofunktionellen Eigenschaften ermöglichen entsprechend eine anwendungsorientierte Priorisierung. So sind zum Beispiel: Kartoffelschalen vielversprechend für schaumbasierte Anwendungen (aufgeschlagene Teige, Mousses, Speiseeis). Nebenströme mit hoher Emulgierfähigkeit (Gerstenmalzwürzelchen, Kaffeesilberhäutchen, Traubentrester) eignen sich für emulgierte Systeme wie Dressings, Soßen und Aufstriche. Eine hohe Wasserhaltefähigkeit wiederum unterstützt die Feuchtigkeitsretention in Backwaren, pflanzlichen Fleischalternativen und Tiefkühlprodukten (verringerte Synärese und Backverlust). Eine hohe Ölhaltekapazität, beispielsweise in Zuckerrübenschnitzeln, ist nützlich für fettreiche Füllungen und als Träger für lipophile Aromen.

Umgekehrt sollten Nebenströme, die bei einer bestimmten Eigenschaft neutrale Werte aufweisen, nicht für Anwendungen berücksichtigt werden, bei denen diese Funktion kritisch ist.

Kommentar: Jegliche weitere Verarbeitung, sei es eine weitere Vermahlung, Auffeuchtung und Trocknung u.v.m. kann die technofunktionellen Eigenschaften verändern.

3.2 Nährwerte

Für alle untersuchten Nebenströme wurden der Wassergehalt, der Fettgehalt, der Proteingehalt, sowie lösliche und unlösliche Nahrungsfasern gemessen und der Stärkegehalt berechnet. Fett- sowie Wassergehalt wurden intern analysiert, Protein- und Nahrungsfasern in einem akkreditierten Labor. Die Resultate sind in Tabelle 5 dargestellt und in Abbildung 2 mit Literaturdaten verglichen.

Tabelle 5: Makronährstoffzusammensetzung der untersuchten Nebenströme (TM = Trockenmasse, n.a. nicht analysiert). Fett- und Wassergehalt (n=3), Protein und Nahrungsfasern (n=1, Standardabweichungen sind hier als übliche Standardabweichungen der verwendeten Analysemethoden zu verstehen), Stärkegehalt berechnet.

Nebenstrom	Feuchte	Fettgehalt	Proteingehalt	Lösliche Nahrungsfasern	Unlösliche Nahrungsfasern	Nahrungsfasern gesamt	Stärke
	[%]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]
Apfeltrester	4.8 ±0.28	4.3 ±0.08	5.0 ±0.01	10.0 ±1.0	41.0 ±3.8	51.0 ±3.7	38.8
Aprikosenkerne	8.1 ± 0.1	40.5 ± 0.2	24.1 ± 1.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Biertreber	4.8 ± 0.5	7.4 ± 0.2	21 ± 1.1	2.6 ± 0.3	52.4 ± 8.7	55 ± 7.1	11.4
Buttermilch	14.9 ± 0.0	5.1 ± 0.0	31.8 ± 1.6	1 ±0.1	<0.28 n.a.	1 ±0.1	55.5
Gelberbsenschalen	7.2 ±0.8	1.9 ±0.0	17.0 ±0.4	2.0 ±0.2	40.0 ±0.8	41.9 ±0.9	34.3
Gerstenmalzwürzelchen	7.5 ±0.4	0.6 ±0.0	24.3 ±1.3	5.4 ±0.7	33.2 ±5.5	38.7 ±5.0	31.2
Kaffeesatz	3.3 ±0.2	18.9 ±0.1	13.3 ±0.7	2.2 ±0.3	57.9 ±9.6	60.1 ±7.8	4.6
Kaffeesilberhaut	7.3 ±0.2	1.2 ±0.3	14.8 ±0.8	12.3 ±2.4	57.5 ±12.4	69.8 ±12.6	7.4

Kakaobohnenschale	5.9 ±0.0	6.4 ±0.1	15.5 ±0.8	14.7 ±1.9	39.9 ±6.6	54.6 ±7.0	18.7
Kartoffelschalen	3.6 ±0.1	0.2 ±0.1	12.3 ±0.6	5.9 ±0.8	25.3 ±4.2	31.2 ±4.0	54.7
Pilzstiele	7.4 ±0.1	0.4 ±0.1	24.7 ±1.3	1.9 ±0.2	28.1 ±4.7	30 ±3.9	40.5
Rapspresskuchen	7.7 ±0.1	6.2 ±0.0	30.7 ±1.6	66 ±8.6	29.7 ±4.9	35.7 ±4.6	21.3
Traubentrester	6.6 ±0.7	8.3 ±0.1	10.5 ±0.6	4.4 ±0.6	48.2 ±8.0	52.5 ±6.8	23.7
Weizenkleie	10.5 ±0.2	3.0 ±0.1	14.7 ±0.8	1.8 ±0.2	41.4 ±6.9	43.2 ±5.6	32.0
Zuckerrübenpulpe	6.0 ±0.1	0.2 ±0.2	7.2 ±0.4	18.1 ±2.4	44.4 ±7.4	62.5 ±8.1	25.6

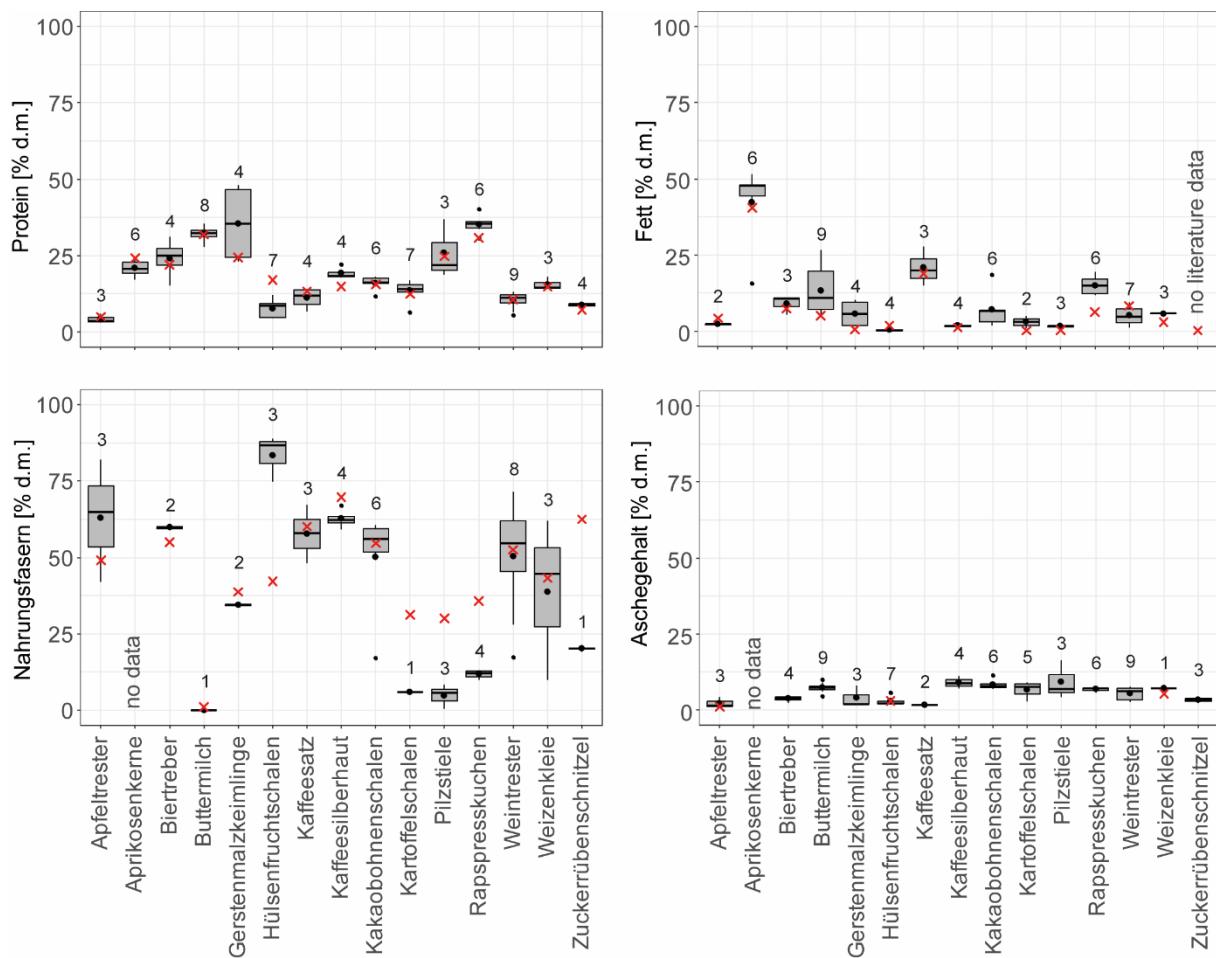


Abb. 2: Makronährstoffzusammensetzung der untersuchten Nebenströme (rote Kreuze, nur Mittelwerte angegeben) im Vergleich zu Literaturdaten (schwarze Boxplots). Wiederholung der eigenen Messungen: Fett- und Wassergehalt (n=3), Protein und Gesamtnahrungsfasern (n=1). [21–23,23–61]

Nahrungsfasern: Viele der analysierten Nebenströme sind reich an Nahrungsfasern, wobei meist der Anteil unlöslicher Nahrungsfasern höher ist als der lösliche. Die Ausnahme bildet Rapssaatpresskuchen, bei dem zwei Drittel der Nahrungsfasern löslich sind. Der positive Einfluss von Nahrungsfasern auf die menschliche Gesundheit ist gut untersucht. Nahrungsfasern tragen u.a. zur

Darmgesundheit und zur Reduktion von Stoffwechselkrankheiten bei [62–64]. Bezüglich der Anwendbarkeit von Nahrungsfasern in Lebensmitteln ist insbesondere der Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften (z.B. Verdickung, Gelierung) als auch die Verbesserung von Konsistenz und Stabilität der Endprodukte positiv zu erwähnen [65,66], während eine dunkle Verfärbung der Produkte und mögliche sandige Textur bei hoher Zugabe von unlöslichen Nahrungsfasern beachtet werden muss.

Fettgehalt: Einige Nebenströme enthalten sehr hohe Mengen an Fett (z. B. Kaffeesatz, Aprikosenkerne). Für solche Produkte mit hohem Fettgehalt wäre eine Charakterisierung der Fettsäureklassen sowie Haltbarkeitsmessungen bezüglich Oxidation empfehlenswert, um die Lagerbarkeit sicherzustellen. Parallel dazu sollte in zukünftigen detaillierten Arbeiten die Fettsäurezusammensetzung bewertet werden, um die Fettqualität mit den Zielanwendungen abzustimmen.

Proteingehalt: Einige Nebenströme sind proteinreich – insbesondere Rapspresskuchen und Buttermilch weisen sehr hohe Werte auf. Proteinreiche Nebenströme müssen hinsichtlich limitierender Aminosäuren und Proteinfunktionalität (Löslichkeit, Hitzestabilität, Emulgier- und Schaumbildungsvermögen) untersucht werden. Für spezifische Anwendungen wäre zudem die Messung und Bewertung des Aminosäureprofils von Interesse.

Die Analyse von Polyphenolen und Aromastoffen wäre insbesondere bei aus Kaffee und Kakao stammenden Nebenströmen interessant, um deren Einfluss auf Geschmack und Adstringenz zu beurteilen.

3.3 Kontaminanten und weitere Herausforderungen

Die Nebenströme wurden auf gesundheitsschädliche Verbindungen untersucht, die die Lebensmittelsicherheit beeinträchtigen könnten. Diese Analysen wurden von einem externen Labor durchgeführt, weshalb nur ausgewählte Nebenströme zur Analyse eingesendet wurden, die als potenziell risikoreicher eingestuft wurden. Die Einschätzung, welche Nebenströme ein erhöhtes Risiko haben, basierte dabei auf einer Literaturstudie. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der risikobasierten Analysen ist in Tabelle 6 aufgeführt. Die Ergebnisse wurden im Kontext von gesetzlichen Grenzwerten oder Richtlinien bewertet. In Fällen, in denen es für die untersuchten Produkte keine Richt- oder Grenzwerte gibt, wurden Werte für andere, vergleichbare Produkte herangezogen, um die gemessenen Werte einordnen zu können.

Für Pestizide und Mykotoxine wurde, sofern nicht anders angegeben, ein Screening durchgeführt. Für aerobe mesophile Keime sowie Hefen und Schimmelpilze sind für die hier vorliegenden Rohstoffe keine gesetzlichen Höchstwerte festgelegt. Es existieren jedoch Orientierungswerte, die je nach Verarbeitungsschritten als Hygiene- und Qualitätsindikatoren für bestimmte Produkte dienen^[67]. Die Sicherheit der Endprodukte muss jeweils individuell bewertet werden.

Wichtig Anmerkung: die hier abgebildeten Werte basieren auf einer Stichprobe und sind nicht repräsentativ für die generelle Sicherheit dieser Nebenströme, da diese von Sorte, Anbaugesbiet, Anbaujahr (Witterung), Lagerung nach Anfallen des Nebenstromes, u.v.m. abhängen können. Es wird empfohlen, bei Nutzung der Nebenströme Wiederholungsmessungen durchzuführen.

Tabelle 6: Risikobasierte Analyse der Nebenströme (n.d. = nicht detektiert, n.a. = nicht verfügbar), verglichen zu Richtwerten für ähnliche Produkte. Buttermilch wurde nicht analysiert, da es als kommerziell erhältliches Rohmaterial in Pulverform bezogen wurde.

Apfeltrester	Gehalt	Richtwerte
--------------	--------	------------

Blausäure [mg/kg]	6.1	70 mg/L	Brandy aus Steinfruchtpulpe, Steinfrucht-Brandy ^[68]
Patulin [µg/kg]	<0.02	25	Feste Apfelprodukte, inkl. geschmorte Äpfel und Apfelpurée ^[68]
Schwermetalle [mg/kg]			
Arsen	< 0.02	0.2	Fruchtsäfte, verdünnte Fruchtsäfte, Fruchtnektar, Fruchtsirup ^[68]
Blei	0.058	0.1	Früchte ^[68]
Kadmium	<0.01	0.05	Früchte ^[68]
Quecksilber	<0.01	0.01	Äpfel ^[68]
Pestizide [mg/kg]			
Fludioxonil	0.45	5	Äpfel ^[69]
Kresoxim-methyl	0.015	0.2	Äpfel ^[69]
Phtalimide	0.040	3	Äpfel ^[69]
Tetrahydrophthalimide	0.46	10	Äpfel ^[69]
Difenoconazole	0.026	0.8	Äpfel ^[69]
Fluxapyroxad	0.014	0.9	Äpfel ^[69]
Indoxacarb	0.013	0.5	Äpfel ^[69]
Pirimicarb	0.050	1.2	Äpfel ^[69]
Tebufozide	0.026	1	Äpfel ^[69]
Trifloxystrobin	0.012	0.7	Äpfel ^[69]
Rest	n.d		
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
Hefen	n.d		
Schimmelpilze	160	<1000	Fruchtpulpe ^[70]
Enterobakterien	n.d		
E. coli	n.d		
L. monocytogenes	n.d		
Salmonella spp	n.d		
Aprikosenkerne	Gehalt	Richtwerte	
Enzymatisch freisetzbare Blausäure [mg/kg]	999	20	Aprikosenkerne ^[68]
Biertreber	Gehalt	Richtwerte	
Mycotoxine [mg/kg]	n.d		
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
AMK	n.d		
Hefen	n.d		
Schimmelpilze	n.d		
B. cereus	n.d		
Gelberbsenschalen	Gehalt	Richtwerte	
Schwermetalle [mg/kg]			
Arsen	0.021	0.2	Fruchtsäfte, verdünnte Fruchtsäfte, Fruchtnektar, Fruchtsirup ^[68]
Blei	0.044	0.1	Früchte ^[68]
Kadmium	0.024	0.05	Früchte ^[68]
Quecksilber	<0.01	0.01	Äpfel ^[68]
Pestizide [mg/kg]	n.d		
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
Hefen	450	<10	Dosengemüse ^[70]
Schimmelpilze	500	<10	Dosengemüse ^[70]
Enterobakterien	3600	<10000	Tofu ^[71]
E. coli	1500	<100	Vorgeschnittene, ready-to-eat Früchte und Gemüse ^[72]
L. monocytogenes	n.d		
Salmonella spp	n.d		
Gerstenmalzwürzelchen	Gehalt	Richtwerte	

Mykotoxine [mg/kg]	n.d		
NDMA (N-Nitrosodimethylamin) [µg/kg]	<0.8	2.5	Malz [73]
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
AMK	> 300 Mio		
Hefen	150'000		
Schimmelpilze	9'200		
Kaffeersatz	Gehalt	Richtwerte	
Mykotoxine [µg/kg]	n.d		
Acrylamid [µg/kg]	89	400	Gerösteter Kaffee [68]
Total MOSH/POSH [mg/kg]	3.7	n.a.	
Total MOAH [mg/kg]	<1.3	1.0	Produkte mit Fettgehalten > 4% und ≤ 50% [74]
PAK [mg/kg]	0.11	n.a.	
Phtalate [mg/kg]	n.d		
Koffein [mg/g]	0.56		0.2-2.0 mg/kg pro kg Körpergewicht für 3-10 Jahre alte Kinder pro Tag [75]
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
AMK	4'000		
Hefen	n.d		
Schimmelpilze	n.d		
Kaffeessilberhaut	Gehalt	Richtwerte	
Mykotoxine [µg/kg]			
Ochratoxin A	0.67	3	Gerösteter Kaffee [68]
Rest	n.d		
Akrylamid [µg/kg]	356-450	400	Gerösteter Kaffee [68]
Total MOSH/POSH [mg/kg]	7.1	n.a.	
Total MOAH [mg/kg]	<0.5	0.5	Produkte mit Fettgehalten ≤ 4% [74]
PAK [mg/kg]	1.4	n.a.	
Phtalate [mg/kg]	n.d		
Koffein [mg/g]	5.20		0.2-2.0 mg/kg body weight for 3-10 year old children per day [75]
Kakaobohnenschalen	Gehalt	Richtwerte	
Mykotoxine [mg/kg]			
Ochratoxin A	0.7	3	Kakaopulver [68]
Andere	n.d		
Schwermetalle [mg/kg]			
Kadmium	0.37	0.6	Kakaopulver [68]
Acrylamid [µg/kg]	273	300	Ähnliche Produkte wie Biscuit, Kekse, Waffeln, Cracker, Knäckebrot, Lebkuchen [68]
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
AMK	n.d		
Hefen	n.d		
Schimmelpilze	n.d		
E. coli	n.d		
B. cereus	n.d		
L. monocytogenes	n.d		
Kartoffelschalen	Gehalt	Richtwerte	
Pestizide [mg/kg]			
Boscalid	0.04	5	Knollengemüse [69]
Chlorpropham	0.14	30	Kartoffeln [69]
Dichlorbenzamid (2,6-)	0.01		
Difenoconazole	0.13	4	Kartoffeln [69]
Fluopicolide	0.21	1	Fruchtbildendes Gemüse, ausser Kürbissen [69]
Fluxapyroxad	0.03	0.07	Kartoffeln [69]
Mandipropamid	0.04	0.1	Kartoffeln [69]

Pendimethalin	0.03	0.05	Fruchtbildendes Gemüse, ausser Kürbissen ^[69]
Rest	n.d.		
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
AMK	8.2 Mio		
Hefen	n.d.		
Schimmelpilze	n.d.		
Rapspresskuchen	Gehalt	Richtwerte	
Pestizide [mg/kg]			
Fluazifop	0.01	7	Sonnenblumensamen ^[69]
Rest	n.d.		
Mykotoxine [mg/kg]	n.d.		
Traubentrester	Gehalt	Richtwerte	
Mykotoxine [mg/kg]	n.d.		
Mikrobielle Aktivität [KBE/g]			
AMK	9'000		
Hefen	n.d.		
Schimmelpilze	n.d.		
Weizenkleie	Gehalt	Richtwerte	
Pestizide [mg/kg]	n.d.		
Mykotoxine [µg/kg]			
Deoxynivalenol	54	1000	Unverarbeitetes Getreide ^[68]
Rest	n.d.		
Phytinsäure [mg/g]	8.9	4.0/ 22.2	Weizenmehl / Vollkornweizenmehl ^[76]
Zuckerrübenpulpe	Gehalt	Richtwerte	
Pestizide [mg/kg]	n.d.		
Schwermetalle [mg/kg]			
Arsen	0.28	0.25	Reismehl ^[68]
Blei	0.82	0.1	Wurzel- und Knollengemüse ^[68]
Kadmium	0.39	0.1	Wurzel- und Knollengemüse ^[68]
Nitrate [mg/kg]	57	3500	Spinat ^[68]

Die meisten betrachteten Nebenströme zeigten geringe oder keine Kontamination. Einige auffällige Werte müssen jedoch weiter bewertet werden, um Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten. Die Schwermetallkonzentration in Zuckerrübenschnitzeln ist im Vergleich zu Richtwerten für Wurzel- und Knollengemüse relativ hoch. Acrylamid in Kaffeesilberhäutchen wurde in zwei Laboren analysiert und ergab einen Bereich von 356–450 µg/kg, der nahe am Richtwert für gerösteten Kaffee (400 µg/kg) liegt. Dies zeigt, dass der Umgang mit dieser Verbindung für den Einsatz in Lebensmitteln sorgfältig berücksichtigt werden muss. In Aprikosenkernen wurden hohe Mengen an enzymatisch freisetzbarer Blausäure gefunden, was nicht überraschend ist, da – ähnlich wie bei Mandeln – eine Behandlung der Kerne für einen sicheren Verzehr notwendig ist. Darüber hinaus müssen die mikrobiologischen Befunde von Gerstenmalzwürzelchen und Gelberbsenschalen in der weiteren Verarbeitung berücksichtigt werden, um ihre sichere Anwendung in Lebensmitteln zu gewährleisten.

3.4 Weitere Herausforderungen

Einige der Nebenströme fallen nass an und müssen getrocknet werden, um sie lagerfähig zu machen, während andere von einer Feinvermahlung profitieren. Dabei war eine Feinvermahlung insbesondere beim stark fetthaltigen (Kaffeesatz, Raps) sowie faserreichen (Kaffeesilberhaut) Nebenströmen

herausfordernd. Durch geeignete, an das Rohmaterial angepasste Auswahl der Mühlentypen konnten die gewünschten Mahlergebnisse erreicht werden. Bei der Trocknung von Nebenströmen zeigte sich, dass ein energieeffizienter Ansatz über ein mehrstufiges Press-Trocknungsverfahren zielführend ist, um das ökologische und ökonomische Potential einer Nutzung von Nebenströmen zu maximieren. Weiter lohnt es sich, den Valorisierungspfad von Nebenstrom bis zum verkaufsfertigen Produkt so zu gestalten, dass die Anzahl Trocknungsschritte minimal ist.

Für gewisse Nebenströme wurden weitere Herausforderungen festgestellt. Zu diesen individuellen Herausforderungen gehörten beispielsweise das Vorkommen von Substratresten in Pilzstielen, die sich nicht entfernen ließen (Abbildung 3), oder der Insektenbesatz von Traubentrester (Abbildung 4). Im Fall von Aprikosenkernen ist der Entschalungsprozess besonders arbeitsintensiv (Abbildung 5), während die Zugabe von Gips während der Zuckerproduktion die Handhabung des Zuckerrübensresters erschwert.



Abb. 3 Frische Pilzstiele.



Abb. 4: Insekten gefunden in Traubentrester.



Abb. 5: Aprikosenkerne und -steine.

4. Novel Food Abklärungen

Im Rahmen der Valorisierung von Nebenströmen spielt nicht nur die technologische Aufbereitung eine Rolle, sondern auch die lebensmittelrechtliche Einordnung. Im Innovationsprozess ist es wichtig frühzeitig abzuklären, ob ein Produkt aus einem Nebenstrom als Novel Food gilt und damit einer spezifischen Zulassungspflicht unterliegt. Deshalb wurde im Hinblick auf eine mögliche Nutzbarmachung der Nebenströme abgeklärt, ob sie als novel food eingestuft sind und entsprechend ein Gesuch für eine Zulassung gestellt werden müsste, oder ob sie bereits zugelassen sind.

Neuartige Lebensmittel (Novel Foods) sind Lebensmittel, die vor dem 15. Mai 1997 in der Schweiz oder der EU nicht in nennenswertem Umfang von Menschen verzehrt wurden. Diese Definition basiert auf der Schweizer Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV), insbesondere Art. 15. Der rechtliche Rahmen für neuartige Lebensmittel wurde in der Schweiz im Zuge der umfassenden Revision des Lebensmittelrechts im Jahr 2017 (Largo) eingeführt und damit an die EU-Regelungen angeglichen. Das Hauptziel besteht darin, ein hohes Maß an Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten und Verbraucherinnen und Verbraucher vor Täuschung zu schützen. Tabelle 7 zeigt die Kategorisierung der untersuchten Nebenströme.

Tabelle 7: Novel food Kategorisierung der untersuchten Nebenströme (Status 01.2025)

Nicht novel, kann als Lebensmittel verwendet werden. - Apfeltrester - Aprikosenkerne - Biertreber - Buttermilch - Kaffeesatz - Kakaobohenschalen - Kartoffelschalen - Pilzstiele - Weizenkleie
Novel food Status unklar → der Status müsste erst durch eine Eintretensabklärung bestimmt werden, welche ans Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) eingereicht werden kann. - Gelberbsenschalen - Gerstenmalzwurzeln (nicht neuartig in Nahrungsergänzungsmitteln, in allen anderen Lebensmitteln muss der Novel-Food-Status abgeklärt werden) - Traubentrester - Zuckerrübenpulpe
Als novel klassifiziert, aber (noch) nicht bewilligt, zur Zeit nicht für Lebensmittelanwendungen erlaubt (Erlaubnis müsste erst erhalten werden). - Kaffeesilberhaut - Rapspresskuchen
Als novel klassifiziert und bewilligt, kann verwendet werden. -

Anzumerken ist, dass der Novel-Food-Status in Bezug auf die angewendeten Prozesse «Trocknen, Vermahlen» beurteilt wurde, die als Standardprozesse betrachtet werden können. Werden hingegen Prozesse auf diese Produkte angewendet, die vor dem 15. Mai 1997 als nicht herkömmliche Verfahren eingestuft werden, und diese Verfahren führen dazu, dass sich bedeutende Veränderungen der Zusammensetzung oder Struktur ergeben, die den Nährwert, die Art der Verstoffwechselung oder

den Gehalt an unerwünschten Stoffen beeinflussen, kann dies dazu führen, dass auch vorher nicht neuartige Produkte dann als neuartig gelten (vgl. Art. 15 Abs. 1 lit. g LGV). Auch beispielsweise eine Extraktion an einem Lebensmittel, das nicht neuartig ist, kann dazu führen, dass der Extrakt als neuartig eingestuft wird.

5. Entscheidungsbäume Nebenstrom-Valorisierung

Auf Basis der präsentierten Erkenntnisse wurden Entscheidungsbäume entwickelt, die eine strategische und systematische Entscheidungsfindung bei der Verwertung von Nebenströmen ermöglichen sollen. Der erste Entscheidungsbaum ist in Abb. 6 dargestellt und zeigt, welche Fragen gestellt werden müssen, um einen Nebenstrom sicher und lagerfähig zu machen.

Die beiden folgenden Entscheidungsbäume veranschaulichen, wie ein geeigneter Nebenstrom für eine definierte Endanwendung gefunden werden kann (Abb. 7) beziehungsweise alternativ, wie passende Anwendungen für definierte Nebenströme identifiziert werden können (Abb. 8).

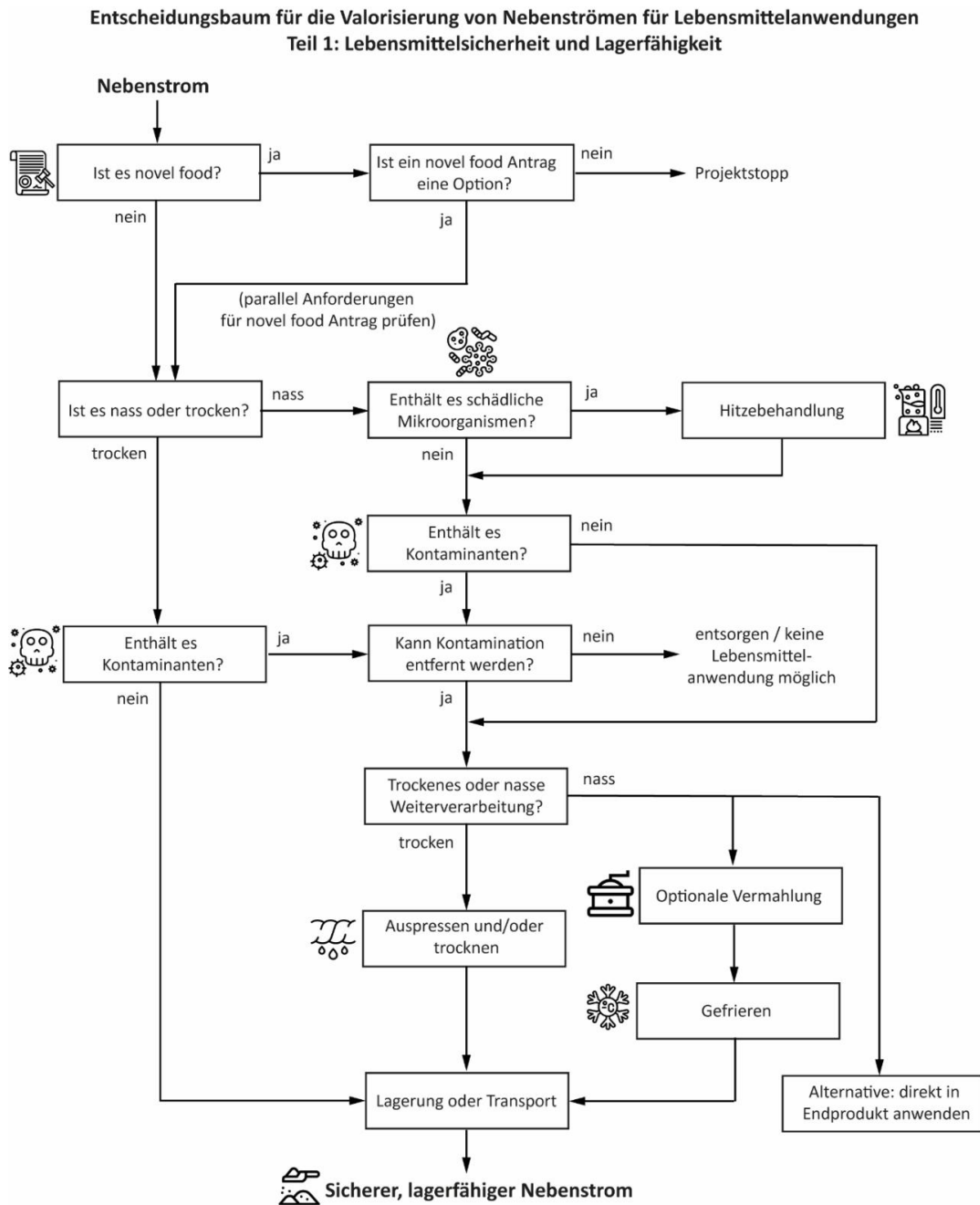


Abbildung 6: Entscheidungsbaum Teil 1: Lebensmittelsicherheit und Lagerfähigkeit.

Entscheidungsbaum für die Valorisierung von Nebenströmen für Lebensmittelanwendungen

Teil 2a: Wahl von passenden Nebenströmen für definierte Anwendungen

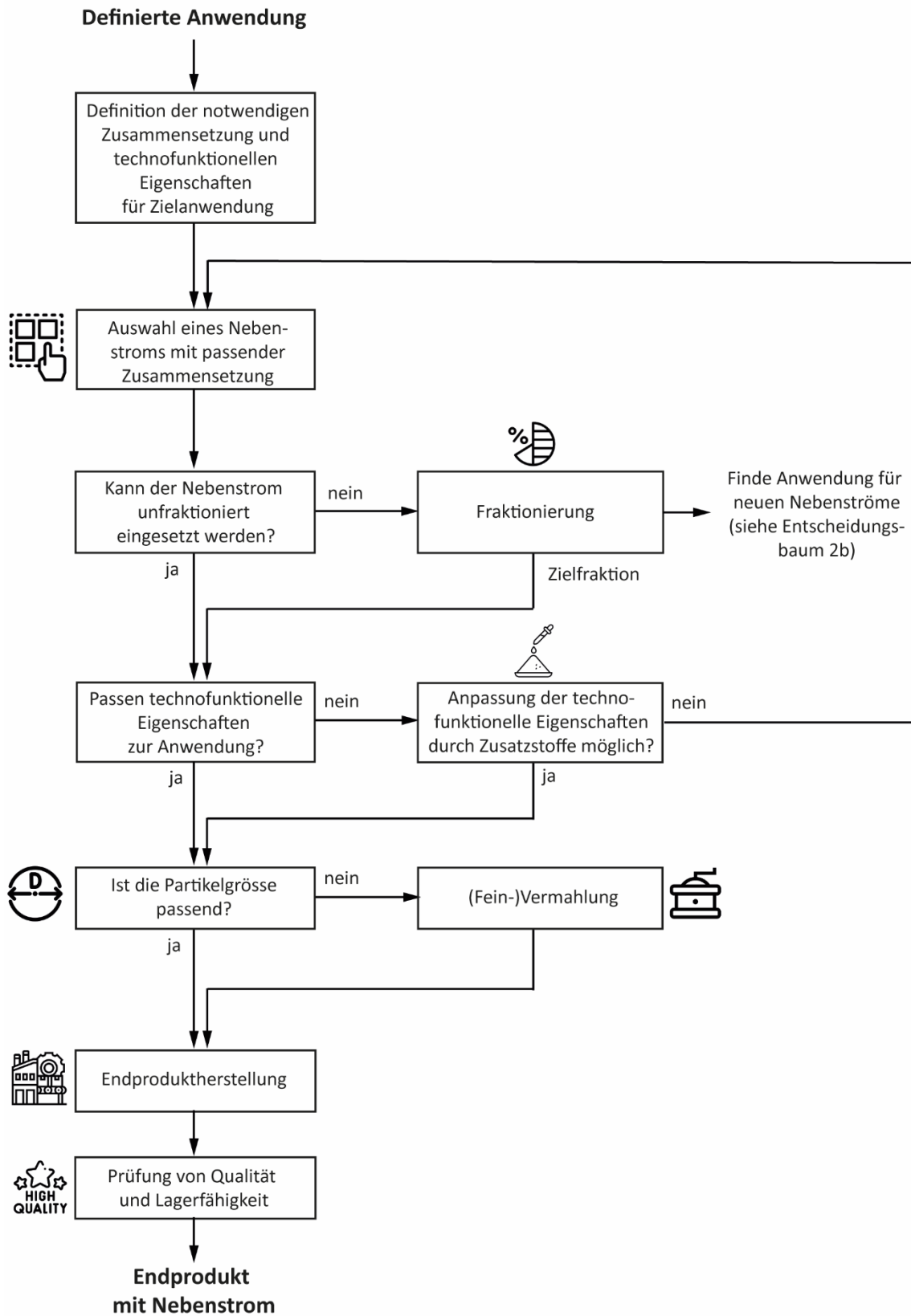


Abbildung 7.: Entscheidungsbaum Teil 2a: Definition eines geeigneten Nebenstromes für eine spezifische Anwendung.

Entscheidungsbaum für die Valorisierung von Nebenströmen für Lebensmittelanwendungen: Teil 2b: Entwicklung geeigneter Endanwendungen für definierte Nebenströme

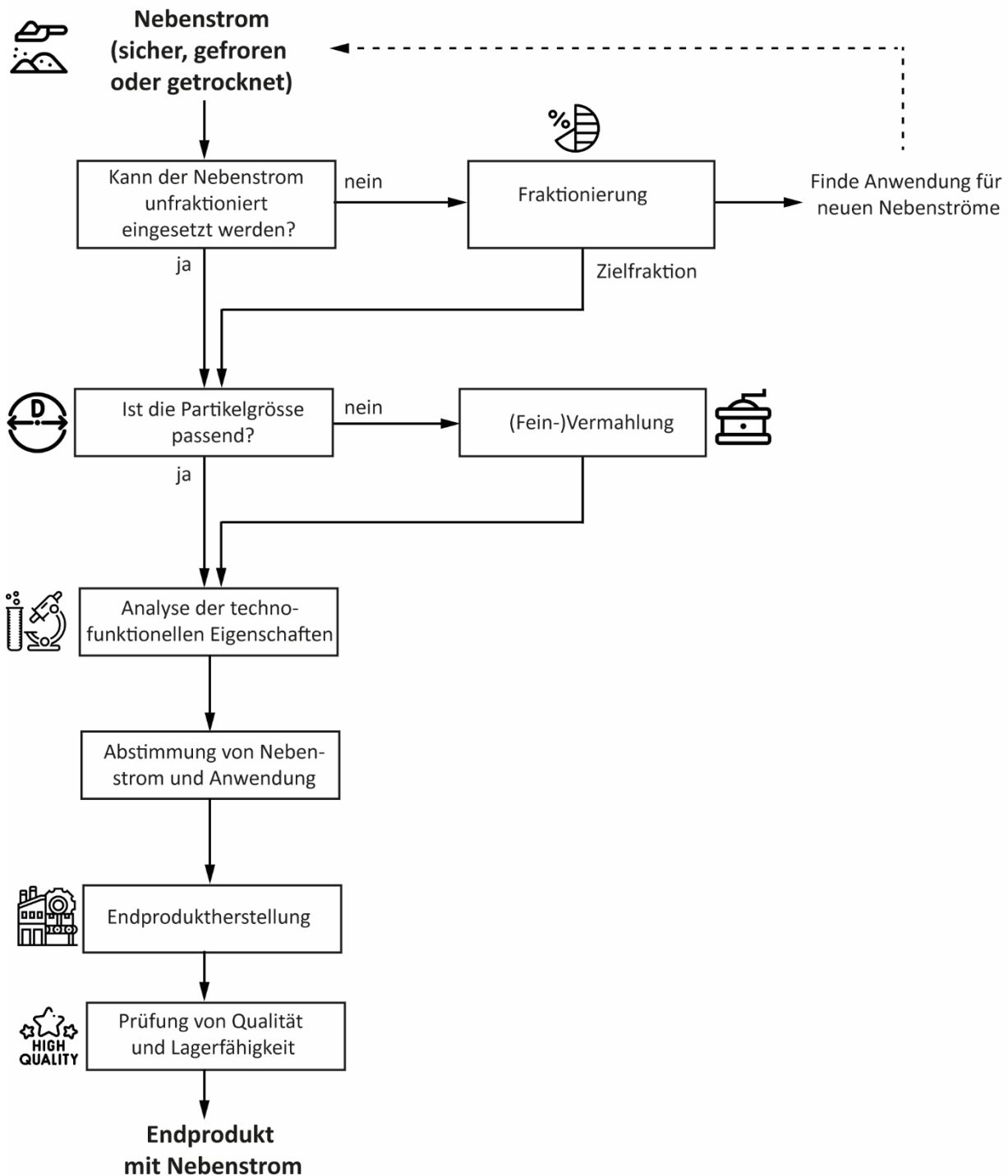


Abbildung 8: Entscheidungsbaum 2b – Entwicklung einer geeigneten Endprodukthanwendung für einen definierten Nebenstrom.

6. Anwendungsbeispiele

6.1. Granola mit Kaffeenebenströmen

Die weltweite Kaffeeindustrie erzeugt jährlich Nebenströme in Form von verbrauchtem Kaffeesatz (SCG, *spent coffee grounds*) und Kaffeesilberhäutchen (CSS, *coffee silverskin*) in einer Größenordnung von etwa 6 Millionen Tonnen. Trotz ihres hohen Umweltpotenzials bleiben diese Nebenprodukte bislang weitgehend ungenutzt.

Diese Studie untersucht die Machbarkeit, SCG und CSS zu einem neuen Produkt, Granola, weiterzuverwerten (*Upcycling*). Beide Nebenströme wurden hinsichtlich ihrer Nährstoffzusammensetzung, potenzieller Schadstoffe und technofunktionaler Eigenschaften charakterisiert. Während SCG einen höheren Fettgehalt als CSS aufwies, zeigten beide wertvolle Gehalte an Protein und Nahrungsfasern. Kritische Bestandteile wie Acrylamid, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Mineralölkohlenwasserstoffe wurden ebenfalls analysiert und befanden sich in akzeptablen oder handhabbaren Bereichen.

Granola-Rezepturen, die SCG, CSS oder eine getrocknete Mischung beider enthielten, wurden hergestellt und mit Referenzproben verglichen. Alle Varianten erfüllten die Kriterien für einen hohen Nahrungsfasergehalt und wurden hinsichtlich Textur, Farbe und sensorischer Akzeptanz bewertet. Die sensorischen Ergebnisse zeigten weiteres Potenzial zur Verbesserung der Textur und zur Anpassung der wahrgenommenen Bitterkeit. Die SCG-Variante ermöglichte zudem die Bildung von Granola-Clustern durch Zugabe von feuchtem SCG, ohne dass zusätzlicher Zucker erforderlich war. Die Koffeinwerte blieben bei allen getesteten Produkten innerhalb sicherer Grenzen für den allgemeinen Verzehr, während die Acrylamidwerte in dem CSS-basierten Granola die Schweizer Richtlinie für Haferprodukte überschritten, was entsprechende Minderungsmaßnahmen erforderlich macht.

Eine Lebenszyklusanalyse zeigte, dass die Integration von SCG oder CSS in Granola den gesamten ökologischen Fußabdruck im Vergleich zu den Referenzprodukten deutlich reduzieren kann – um bis zu 16,3 %. Aufgrund seines rechtlichen Status als „nicht neuartiges Lebensmittel“ und seiner einfachen Verarbeitbarkeit stellt SCG eine besonders vielversprechende Zutat für nachhaltige Lebensmittelinnovationen dar.

Abbildung 9 zeigt Rohmaterial- und Produktbilder und listet die wichtigsten Erkenntnisse.



Abb. 9: 'Granola mit Kaffeenebenströmen'.

6.2. 'Schokolade' mit Kakaobohnenschalen

Die Kakaoproduktion ist mit überproportional hohen ökologischen und sozialen Auswirkungen verbunden. Im Jahr 2023 erreichte die weltweite Kakaobohnenproduktion etwa 5.5 Millionen Tonnen, während die Schweiz rund 54'000 Tonnen importierte und verarbeitete. Angesichts des intensiven Landverbrauchs, der Entwaldung und der damit verbundenen CO₂-Emissionen stellt die Verwertung von Nebenströmen aus der Kakaoverarbeitung eine vielversprechende Strategie dar, um die Nachhaltigkeit in der Schokoladenindustrie zu verbessern.

Ein besonders reichlich vorhandenes Nebenprodukt ist die Kakaobohnenschale (CBH, *cocoa bean hull*), die äussere Hülle der Bohne, die etwa 10–17 % der Kakaobohnenmasse ausmacht und beim Schälen nach dem Rösten anfällt.

Der Ersatz von Kakaonibs durch vorvermahlene Kakaobohnenschalen, ohne Anpassung des Fettgehalts, wurde in Zartbitterschokolade untersucht. Die Referenzprobe R100.0 (0 % CBH) wurde mit den Varianten V75.25 (25 % Ersatz der Kakaonibs; insgesamt 16,25 % CBH) und V50.50 (50 % Ersatz; insgesamt 32 % CBH) verglichen.

Mit steigendem CBH-Anteil nahmen sowohl die Viskosität als auch die Fließgrenze der flüssigen Masse signifikant zu, und die Festigkeit der Schokolade erhöhte sich entsprechend. Beide Effekte stimmen mit Literaturangaben überein, die solche Zunahmen auf eine höhere Feststoffbeladung und einen geringeren Fettgehalt zurückführen. Die Farbanalyse (ΔE) zeigte deutliche Unterschiede zwischen R100.0 und V50.50. Der ökologische Fußabdruck verringerte sich um 16 % bei V75.25 und um 32 % bei V50.50 (siehe Abb. 10).

Laut dem EU-Katalog für neuartige Lebensmittel wird CBH nicht als neuartiges Lebensmittel eingestuft. Obwohl CBH üblicherweise als wenig genutztes Nebenprodukt gilt, zeigt diese Studie sein Potenzial als funktionelle und kostensenkende Zutat in Zartbitterschokoladenformulierungen, sofern es in optimierten Einsatzmengen verwendet wird.



Abb. 10: 'Schokolade' mit Kakaobohnenschale.

6.3. Fleischersatzprodukte mit Biertreber und Gerstenmalzwürzelchen

Üblicherweise werden extrudierte Fleischersatzprodukte aus Proteinisolaten oder -konzentraten von proteinreichen Pflanzenmaterialien hergestellt. Dies führt zur Entstehung grosser Mengen an Nebenströmen: im Beispiel von Gelberbsen werden nur ca. 30% des Ausgangsmaterials als Rohmaterial für Fleischersatzprodukte genutzt, während 70% des Rohmaterials als Nebenstrom anfällt.

Diese Studie untersuchte, wie sich eine teilweise Substitution von Erbsenproteinisolat (PPI) durch die proteinreichen Nebenströme Birtreber (BSG) oder Gerstenmalzkeimlinge (BR) auf High-Moisture-Fleischanalogue (HMMA) auswirkt. PPI wurde zu 10 % und 20 % durch BSG oder BR ersetzt. Die Extrudate wurden auf einem gleichläufigen Doppelschneckenextruder bei maximalen Temperaturen von 140 °C und 160 °C hergestellt. Anschließend wurden die Extrudate hinsichtlich Farbe, Feuchtigkeit, Festigkeit und Faserstruktur analysiert. Zudem wurden die technofunktionellen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Rohstoffe bestimmt.

Extrudate mit BSG zeigten die dunkelste Farbe, während Formulierungen mit PPI und BR die hellste aufwiesen. Bei 160 °C wurde ein stärkerer rötlicher Farbton beobachtet. Die Festigkeit war bei 160 °C generell höher, was mit einer geringeren Endproduktfeuchte übereinstimmt. Die Zugabe von Nebenströmen verringerte den Proteingehalt und schwächte die Faserbildung – am stärksten ausgeprägt bei BR. Insgesamt dominierte die Formulierung die Helligkeit, während die Temperatur die Rötung und Festigkeit leicht erhöhte. Eine erste sensorische Bewertung bestätigte diese Tendenzen: Extrudate, die bei 140 °C hergestellt wurden, wurden als faseriger wahrgenommen, und höhere Substitutionsgrade führten zu einer schwächeren, bröckeligeren Textur. Der Ersatz von PPI durch 20% BSG oder BG führte zu einer Reduktion der Umweltbelastung um 16%. Die Produkte mit Gerstenmalzwürzelchen sind novel Food, entsprechend müsste eine Lebensmittelzulassung beantragt werden.

Abbildung 11 zeigt ausgewählte Produktbilder sowie die wichtigsten Erkenntnisse.

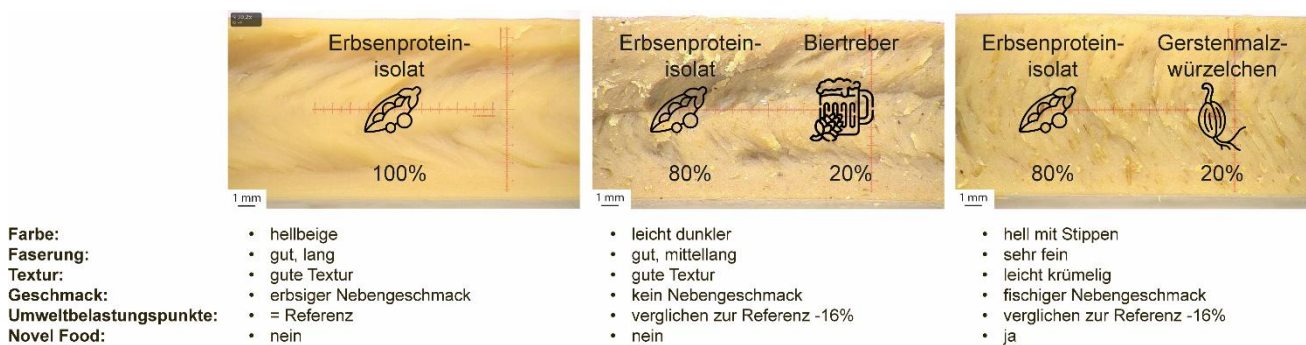


Abb. 11: Fleischersatzprodukte mit Gerstennebenströmen.

6.4. Weiteres Anwendungspotential

Weitere Anwendungen wurden in studentischen Arbeiten getestet, dazu gehören:

- Kaffeesatz und Kaffeesilberhaut in Schokolade: Vermahlung herausfordernd, restliche Verarbeitung problemlos. Geschmack und Textur der resultierenden Schokolade ausgezeichnet (Bachelorarbeit Liridon Rama, 2024).
- Rapspresskuchen in Knäckebrot: Verarbeitung problemlos, bitterer Geschmack des Rapspresskuchens bleibt bestehen (Bachelorarbeit Florian Ihle, 2025).
- Aprikosenkerne eingesetzt in Eiskrem an Stelle von Kokosfett: Geschmack gut mit mandelartigen Noten, Textur je nach Dosierung wässrig bis cremig, bei hoher Zugabe schlechte Schaumbildung und damit zu dichte Struktur (Semesterarbeit Anina Jenni, 2025).
- Brot mit Weizenkleie, Apfeltrester und Gelberbsenschalen: Gute Verarbeitbarkeit für alle Rezepturen. Je nach Rezeptur konnten Nahrungsfasern ausgelobt werden (Bachelorarbeit Patrick Weber, 2025).
 - Weizenkleie: Brotfarbe dunkler, Porenvolumen und Brotvolumen etwas reduziert.
 - Apfeltrester: angenehm fruchtiges Aroma, Porung und Brotvolumen etwas reduziert im Vergleich zu Referenzbrot aus Weizen.
 - Gelberbsenschalen: leicht bohniiger Geschmack und deutliche Reduktion der Porenvolumina und des Brotvolumens.

Für weitere mögliche Produkte aus Nebenströmen, die im Markt verfügbar sind, verweisen wir auf die Review von Salvatore et al.^[77].

7. Schlussfolgerungen

Die Verwertung von Nebenströmen bietet ein großes Potenzial, um Umweltbelastungen zu reduzieren und die Ressourceneffizienz entlang der Lebensmittelwertschöpfungskette zu erhöhen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Klima-, Biodiversitäts- und Ernährungskrise sowie der politischen Ziele, die Lebensmittelverschwendung bis 2030 sowohl in der EU als auch in der Schweiz zu halbieren, ist die Verbesserung der Nutzung von Nebenströmen nicht nur eine intelligente Möglichkeit, sondern vielmehr eine dringende Notwendigkeit auf dem Weg zu nachhaltigeren und widerstandsfähigeren Ernährungssystemen.

Es zeigt sich, dass Nebenströme oft nährstoffreich sind und gute technofunktionelle Eigenschaften aufweisen, die einen Einsatz in Lebensmitteln attraktiv machen. In der Verarbeitung ist eine Feinvermahlung oft hilfreich, kann jedoch je nach Material herausfordernd sein. Ebenfalls muss darauf geachtet werden, den Energiebedarf einer möglichen Trocknung durch einen mehrstufigen Prozess (Pressen, dann Trocknen) zu reduzieren, um einerseits den ökologischen Fussabdruck möglichst klein zu halten, andererseits das ökonomische Potential einer Valorisierung nicht zu schmälern.

Zusätzlich müssen kritische Inhaltsstoffe wie chemische und biologische Kontaminanten regelmässig überprüft und bei der Verwendung bisher nicht genutzter Nebenströme recherchiert werden, ob diese bereits als Lebensmittel zugelassen sind.

Die Anwendungsbeispiele zeigen auf, dass es möglich ist, sensorisch attraktive Produkte aus Nebenströmen zu entwickeln, die verglichen mit einer Nutzung als Tierfutter oder anderen, noch niederwertigeren Verwertungsmethoden zu deutlichen Einsparungen im Umweltfussabdruck führen.

8. Literaturliste

1. *Preparatory study on food waste across EU 27: Final report.* (2011). Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/85947>
2. Beretta, C., & Hellweg, S. (2019). *Lebensmittelverluste in der Schweiz: Mengen und Umweltbelastung, Wissenschaftlicher Schlussbericht.* ETH Zürich.
3. FAOSTAT. (2023). *Agricultural production statistics 2010–2023.*
<https://openknowledge.fao.org/items/ab36b259-d641-4ded-8832-32f579685be7>
4. SOFA 2019—*The State of Food and Agriculture in the World.* (o. J.). Wwww.Fao.Org. Abgerufen 13. November 2025, von <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2019/en/>
5. UNEP. (2021). *UNEP Food Waste Index Report 2021 | UNEP - UN Environment Programme.*
<https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>
6. UFAM, B. für U. B. | O. fédéral de l'environnement O. | U. federale dell'ambiente. (o. J.). *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit.* Abgerufen 21. November 2025, von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wirtschaft-und-konsum/wirtschaft-und-konsum--publikationen/publikationen-wirtschaft-und-konsum/oekofaktoren-schweiz.html>
7. Rudke, C. R. M., Zielinski, A. A. F., & Ferreira, S. R. S. (2023). From Biorefinery to Food Product Design: Peach (*Prunus persica*) By-Products Deserve Attention. *Food and Bioprocess Technology*, 16(6), 1197–1215. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02951-9>
8. Jagiełło, K., & Ludwig, W. (2024). Towards computational fluid dynamics applications in brewing process. *European Food Research and Technology*, 250(2), 361–373. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04401-y>
9. Barukčić, I., Lisak Jakopović, K., & Božanić, R. (2019). Valorisation of Whey and Buttermilk for Production of Functional Beverages—An Overview of Current Possibilities. *Food Technology and Biotechnology*, 57(4), 448–460. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.04.19.6460>
10. Koistinen, V. M., Tuomainen, M., Lehtinen, P., Peltola, P., Auriola, S., Jonsson, K., & Hanhineva, K. (2020). Side-stream products of malting: A neglected source of phytochemicals. *Npj Science of Food*, 4(1), 21. <https://doi.org/10.1038/s41538-020-00081-0>
11. Farah, A. (2009). 15—Coffee as a speciality and functional beverage. In P. Paquin (Hrsg.), *Functional and Speciality Beverage Technology* (S. 370–395). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9781845695569.3.370>

12. Iriondo-DeHond, A., Fernández-Gómez, B., Martínez Sáez, N., Martirosyan, D. M., Mesa, M. D., & Castillo, M. D. del. (2017). *Coffee silverskin: A low-cost substrate for bioproduction of high-value health promoting products*. <https://doi.org/10.13039/501100004837>
13. Sánchez, M., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2023). Cocoa Bean Shell: A By-Product with High Potential for Nutritional and Biotechnological Applications. *Antioxidants*, 12(5), 1028. <https://doi.org/10.3390/antiox12051028>
14. Sampaio, S. L., Petropoulos, S. A., Alexopoulos, A., Heleno, S. A., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Potato peels as sources of functional compounds for the food industry: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.015>
15. Meng, L., Fu, Y., Li, D., Sun, X., Chen, Y., Li, X., Xu, S., Li, X., Li, C., Song, B., & Li, Y. (2019). Effects of corn stalk cultivation substrate on the growth of the slippery mushroom (*Pholiota microspora*). *RSC Advances*, 9(10), 5347–5353. <https://doi.org/10.1039/C8RA10627D>
16. Mosenthin, R., Messerschmidt, U., Sauer, N., Carré, P., Quinsac, A., & Schöne, F. (2016). Effect of the desolventizing/toasting process on chemical composition and protein quality of rapeseed meal. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0095-7>
17. Hoss, I., Rajha, H. N., El Khoury, R., Youssef, S., Manca, M. L., Manconi, M., Louka, N., & Maroun, R. G. (2021). Valorization of Wine-Making By-Products' Extracts in Cosmetics. *Cosmetics*, 8(4), 109. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8040109>
18. Saini, P., Islam, M., Das, R., Shekhar, S., Sinha, A. S. K., & Prasad, K. (2023). Wheat bran as potential source of dietary fiber: Prospects and challenges. *Journal of Food Composition and Analysis*, 116, 105030. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105030>
19. Kelly, P. (1983). Sugar beet pulp—A review. *Animal Feed Science and Technology*, 8(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(83\)90038-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(83)90038-X)
20. Rüegg, R., Schmid, T., Hollenstein, L., & Müller, N. (2022). Effect of particle characteristics and foaming parameters on resulting foam quality and stability. *LWT*, 167, 113859. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113859>
21. Qiu, Z., Ren, S., Zhao, J., Cui, L., Li, H., Jiang, B., Zhang, M., Shu, L., & Li, T. (2024). Comparative analysis of the nutritional and biological properties between the pileus and stipe of *Morchella sextelata*. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1326461>

22. *Mycochemical Characterization of Agaricus subrufescens considering Their Morphological and Physiological Stage of Maturity on the Traceability Process—Zied—2017—BioMed Research International—Wiley Online Library*. (o. J.). Abgerufen 19. November 2025, von <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2017/2713742>
23. Fukuda, M., Kanauchi, O., Araki, Y., Andoh, A., Mitsuyama, K., Takagi, K., Toyonaga, A., Sata, M., Fujiyama, Y., Fukuoka, M., Matsumoto, Y., & Bamba, T. (2002). Prebiotic treatment of experimental colitis with germinated barley foodstuff: A comparison with probiotic or antibiotic treatment. *International Journal of Molecular Medicine*, 9(1), 65–70. <https://doi.org/10.3892/ijmm.9.1.65>
24. Reis, S. F., Rai, D. K., & Abu-Ghannam, N. (2014). Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(7), 1743–1750. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12477>
25. Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., & Šubarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>
26. Alajil, O., Sagar, V. R., Kaur, C., Rudra, S. G., Vasudev, S., Chandran, D., Sharma, K., Kumar, M., & Lorenzo, J. M. (2022). Chemical Characterization of Apricot Kernel: Nutraceutical Composition, Amino Acid, and Fatty Acid Profile. *Food Analytical Methods*, 15(9), 2594–2604. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02317-z>
27. *Characterization of Pectins and Some Secondary Compounds from Theobroma cacao Hulls—Arlorio—2001—Journal of Food Science—Wiley Online Library*. (o. J.). Abgerufen 19. November 2025, von <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04616.x>
28. Blaschek, K. M., Wendorff, W. L., & Rankin, S. A. (2007). Survey of Salty and Sweet Whey Composition from Various Cheese Plants in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 2029–2034. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-770>
29. Borrelli, R. C., Esposito, F., Napolitano, A., Ritieni, A., & Fogliano, V. (2004). Characterization of a New Potential Functional Ingredient: Coffee Silverskin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1338–1343. <https://doi.org/10.1021/jf034974x>
30. Brillouet, J.-M., & Mercier, C. (1981). Fractionation of wheat bran carbohydrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(3), 243–251. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320307>

31. Caprez, A., Arrigoni, E., Amadò, R., & Neukom, H. (1986). Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 4(3), 233–239. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(86\)80025-X](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(86)80025-X)
32. Dalgetty, D. D., & Baik, B.-K. (2003). Isolation and Characterization of Cotyledon Fibers from Peas, Lentils, and Chickpeas. *Cereal Chemistry*, 80(3), 310–315. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.3.310>
33. Deng, Q., Penner, M. H., & Zhao, Y. (2011). Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. *Food Research International*, 44(9), 2712–2720. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.026>
34. Durand, A., & Chereau, D. (1988). A new pilot reactor for solid-state fermentation: Application to the protein enrichment of sugar beet pulp. *Biotechnology and Bioengineering*, 31(5), 476–486. <https://doi.org/10.1002/bit.260310513>
35. Kelly, P. (1983). Sugar beet pulp—A review. *Animal Feed Science and Technology*, 8(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(83\)90038-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(83)90038-X)
36. Fuller, K. L., Kuhlenschmidt, T. B., Kuhlenschmidt, M. S., Jiménez-Flores, R., & Donovan, S. M. (2013). Milk fat globule membrane isolated from buttermilk or whey cream and their lipid components inhibit infectivity of rotavirus in vitro. *Journal of Dairy Science*, 96(6), 3488–3497. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6122>
37. Gottstein, V., Bernhardt, M., Dilger, E., Keller, J., Breitling-Utzmann, C. M., Schwarz, S., Kuballa, T., Lachenmeier, D. W., & Bunzel, M. (2021). Coffee Silver Skin: Chemical Characterization with Special Consideration of Dietary Fiber and Heat-Induced Contaminants. *Foods*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/foods10081705>
38. Johansen, A. G., Vegarud, G. E., & Skeie, S. (2002). Seasonal and regional variation in the composition of whey from Norwegian Cheddar-type and Dutch-type cheeses. *International Dairy Journal*, 12(7), 621–629. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00054-7)
39. Kanauchi, O., Mitsuyama, K., & Araki, Y. (2001). Development of a Functional Germinated Barley Foodstuff from Brewer's Spent Grain for the Treatment of Ulcerative Colitis. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 59(2), 59–62. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-59-0059>

40. Kaya, E., Tuncel, N. Y., & Tuncel, N. B. (2018). Utilization of lentil, pea, and faba bean hulls in Turkish noodle production. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 55(5), 1734–1745.
<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3086-1>
41. Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104(3), 948–954.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.054>
42. Leming, R., & Lember, A. (2005, Mai 17). *Chemical composition of expeller-extracted and cold-pressed rapeseed cake*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Chemical-composition-of-expeller-extracted-and-cake-Leming-Lember/5712e607a1983a524f9c850832146e45ff6d7622>
43. Lievore, P., Simões, D. R. S., Silva, K. M., Drunkler, N. L., Barana, A. C., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2015). Chemical characterisation and application of acid whey in fermented milk. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2083–2092. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1244-z>
44. Llobera, A., & Cañellas, J. (2008). Antioxidant activity and dietary fibre of Prensal Blanc white grape (*Vitis vinifera*) by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(11), 1953–1959.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01798.x>
45. LUNEN, T. A. V., ANDERSON, D. M., ST. LAURENT, A.-M., NICHOLSON, J. W. G., & DEAN, P. R. (1989). The feeding value of potato steam peel for growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 69(1), 225–234. <https://doi.org/10.4141/cjas89-026>
46. Mahmood, A. U., Greenman, J., & Scragg, A. H. (1998). Orange and potato peel extracts: Analysis and use as *Bacillus* substrates for the production of extracellular enzymes in continuous culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 22(2), 130–137. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(97\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(97)00150-6)
47. Martuscelli, M., Esposito, L., Di Mattia, C. D., Ricci, A., & Mastrocola, D. (2021). Characterization of Coffee Silver Skin as Potential Food-Safe Ingredient. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(6), 1367.
<https://doi.org/10.3390/foods10061367>
48. Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and *in vitro* antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *Food Research International*, 49(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005>

49. Morin, P., Jiménez-Flores, R., & Pouliot, Y. (2007). Effect of processing on the composition and microstructure of buttermilk and its milk fat globule membranes. *International Dairy Journal*, 17(10), 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.03.010>
50. Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
51. Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 661–672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
52. NICHOLSON, J. W. G., SNODDON, P. M., & DEAN, P. R. (1988). Digestibility and acceptability of potato steam peel by pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 68(1), 233–239. <https://doi.org/10.4141/cjas88-023>
53. Olabi, A., Jinjarak, S., Jiménez-Flores, R., Walker, J. H., & Daroub, H. (2015). Compositional and sensory differences of products of sweet-cream and whey buttermilk produced by microfiltration, diafiltration, and supercritical CO₂. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 3590–3598. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9141>
54. Pińkowska, H., Krzywonos, M., Wolak, P., & Złocińska, A. (2019). Pectin and Neutral Monosaccharides Production during the Simultaneous Hydrothermal Extraction of Waste Biomass from Refining of Sugar—Optimization with the Use of Doehlert Design. *Molecules*, 24(3), 472. <https://doi.org/10.3390/molecules24030472>
55. Rommi, K., Rahikainen, J., Vartiainen, J., Holopainen, U., Lahtinen, P., Honkapää, K., & Lantto, R. (2016). Potato peeling costreams as raw materials for biopolymer film preparation. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(5). <https://doi.org/10.1002/app.42862>
56. Rommi, K., Hakala, T. K., Holopainen, U., Nordlund, E., Poutanen, K., & Lantto, R. (2014). Effect of Enzyme-Aided Cell Wall Disintegration on Protein Extractability from Intact and Dehulled Rapeseed (*Brassica rapa* L. and *Brassica napus* L.) Press Cakes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(32), 7989–7997. <https://doi.org/10.1021/jf501802e>
57. Sodini, I., Morin, P., Olabi, A., & Jiménez-Flores, R. (2006). Compositional and Functional Properties of Buttermilk: A Comparison Between Sweet, Sour, and Whey Buttermilk¹. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 525–536. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72115-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72115-4)

58. Wisetkomolmat, J., Arjin, C., Satsook, A., Seel-audom, M., Ruksiriwanich, W., Prom-u-Thai, C., & Sringarm, K. (2022). Comparative Analysis of Nutritional Components and Phytochemical Attributes of Selected Thai Rice Bran. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.833730>
59. Woodman, H. E., & Calton, W. E. (1928). The composition and nutritive value of sugar beet pulp. *The Journal of Agricultural Science*, 18(3), 544–568. <https://doi.org/10.1017/S0021859600019572>
60. Li, S., Wang, A., Liu, L., Tian, G., Wei, S., & Xu, F. (2018). Evaluation of nutritional values of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) stipes. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 2012–2019. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9816-2>
61. Bchir, B., Rabetafika, H. N., Paquot, M., & Blecker, C. (2014). Effect of Pear, Apple and Date Fibres from Cooked Fruit By-products on Dough Performance and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 1114–1127. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1148-y>
62. He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X., & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>
63. Payling, L., Fraser, K., Loveday, S. M., Sims, I., Roy, N., & McNabb, W. (2020). The effects of carbohydrate structure on the composition and functionality of the human gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.009>
64. Qin, W., Sun, L., Miao, M., & Zhang, G. (2021). Plant-sourced intrinsic dietary fiber: Physical structure and health function. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 341–355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.022>
65. Pathania, S., & Kaur, N. (2022). Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100295. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100295>
66. Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., & Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>
67. BLV, B. für L. und V. (2025). *Informationsschreiben 2021/2.21, 2: Mikrobiologische Richtwerte für die Überprüfung der guten Verfahrenspraxis*. <https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/lebensmittel-und-ernaehrung/rechts-und->

- vollzugsgrundlagen/hilfsmittel-vollzugsgrundlagen/informationsschreiben-neu/infos-2021-2.pdf.download.pdf/Informationsschreiben-2021-2.pdf
68. SR 817.022.15 - Verordnung des EDI vom 16. Dezember 2016 über die Höchstgehalte für Kontaminanten (Kontaminantenverordnung, VHK). Abgerufen 17. Oktober 2025, von <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/156/de>
69. Pesticide Database. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticides/en/>
70. *Richt- und Warnwerte in der Lebensmittelbranche: Orientierungshilfe von LADR Biofocus*. (o. J.). Abgerufen 4. November 2025, von <https://www.biofocus.de/fachinformationen/lebensmittel/richt-und-warnwerte>
71. *Mikrobiologische Kriterien für Lebensmittel: Zusammenstellung aktueller Vorschriften aus Deutschland und der Schweiz—Deutsche Digitale Bibliothek*. (o. J.). Abgerufen 5. November 2025, von <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/U6ZCRRZ2EJB67S54ALLIAAYBSG4WF2JQ>
72. SR 817.024.1—Verordnung des EDI vom 16. Dezember 2016 über die Hygiene beim Umgang mit Lebensmitteln (Hygieneverordnung EDI, HyV) | Fedlex. (o. J.). Abgerufen 5. November 2025, von <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/183/de>
73. Lebensmittelsicherheit, D. K. K. B. L. für G. und. (o. J.). *Nitrosamine in Bier – Überblick*. Abgerufen 20. Oktober 2025, von https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_36_biere/ue_2017_nitrosamine_in_bier_ueberblick.htm
74. *EU-Maßnahmen zum Umgang mit MOSH-/MOAH-Befunden*. (o. J.). Eurofins Scientific. Abgerufen 20. Oktober 2025, von <https://www.eurofins.de/lebensmittel/food-news/food-testing-news/moah-befunde-in-lebensmitteln/>
75. *EFSA erklärt Risikobewertung: Koffein* | EFSA. (2015, Mai 27). <https://www.efsa.europa.eu/de/corporate/pub/efsaexplainscaffeine150527>
76. García-Estapa, R. M., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (1999). Phytic acid content in milled cereal products and breads. *Food Research International*, 32(3), 217–221. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00092-7)

77. Salvatore, I., Leue-Rüegg, R., Beretta, C., & Müller, N. (2024). Valorisation potential and challenges of food side product streams for food applications: A review using the example of Switzerland. *Future Foods*, 9, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100325>