

BACHELORARBEIT

Verwendung von Nebenströmen aus der Lebensmittelindustrie im Bereich der Stofffärbung

vorgelegt am 18. September 2025

Natascha Éponine Sytnykova



Erstprüferin: Prof. Dr. med. vet. Katharina Riehn

Zweitprüfer: Prof. Dr. Markus Oberthür

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG

Fakultät Life Sciences

Department Ökotrophologie

Ulmenliet 20

21033 Hamburg

Danksagung

Mein größter Dank geht an meine Mutter, die mir sehr dabei geholfen hat, mich für das Ökotropologie Studium zu entscheiden. Während der gesamten Zeit hat sie mich physisch und mental so gut unterstützt, wie sie es konnte. Ich weiß nicht, ob ich ohne sie das ganze durchgezogen hätte. Ich habe unglaubliches Glück so eine tolle Mama zu haben.

Bei Frau Riehn möchte ich mich für die Betreuung meiner Bachelorarbeit und meines Pflichtpraktikums bedanken. Besonders bezüglich der Bachelorarbeit hatte ich viele Fragen, die sie mit mir in aller Ruhe und Ausführlichkeit besprochen hat.

Meiner Bachelorpartnerin Catalina Whittle danke ich für die Bereitstellung der Informationen und für ihre Erklärungen. Ohne die Zusammenarbeit wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Zum Schluss möchte ich noch der HAW danken. Ich hatte hier eine wundervolle Zeit. Es war zwar nicht immer einfach, aber ich habe viel Neues gelernt, auch über mich selbst, und viele tolle Leute kennengelernt. Für diese Erfahrung bin ich sehr dankbar.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Zusammenfassung.....	1
Abstract.....	1
1 Einführung	2
1.1 Definition relevanter Begriffe.....	2
1.1.1 Nebenprodukte.....	2
1.1.2 Lebensmittelabfälle	2
1.1.3 Lebensmittelverlust und -verschwendung.....	3
1.1.4 Phenolische Verbindungen	3
1.1.5 Bio-Sorptionsmittel	4
1.1.6 Beize.....	4
1.1.7 Farbstoffe und Pigmente	5
1.2 Berücksichtigte Sektoren entlang der Lebensmittelkette	5
1.3 Wahl der Nebenprodukte	6
1.4 Probleme mit der Entsorgung der Lebensmittelnebenprodukte.....	6
1.5 Probleme mit der Textilindustrie.....	7
1.6 Aktueller Stand zur Entsorgung und Verwendung der Nebenprodukte.....	8
1.6.1 Zwiebeln	8
1.6.2 Karotten	9
1.6.3 Walnüsse	9
1.6.4 Avocados.....	10
1.6.5 Orangen.....	10
1.7 Fragestellung	11
1.8 Aufbau der Arbeit.....	11
2 Methode.....	12
2.1 Literaturrecherche	12
2.1.1 Systematische Literaturrecherche	12
2.1.2 Schneeballmethode	15
2.2 Interview	16
2.3 Materialien	16
3 Ergebnisse.....	17
3.1 Ausschlussverfahren der Nebenprodukte.....	17
3.2 Forschung – Ergebnisse des UV/Vis-Geräts	20
3.2.1 Erste Testfärbung	20

3.2.2	Zweite vertiefte Testfärbung.....	21
3.2.3	Wiederholung der zweiten Testfärbung mit Zwiebelschalen	22
3.3	Alternative Anwendungsmöglichkeiten.....	25
3.3.1	Walnüsse	25
3.3.2	Zwiebeln	30
3.3.3	Orangen.....	34
3.3.4	Avocados	40
3.3.5	Karotten	44
3.4	Experteninterview	50
3.5	Nachhaltigkeit.....	51
4	Diskussion.....	52
4.1	Methodendiskussion	52
4.1.1	Limitation bezüglich der Methodik.....	52
4.1.2	Literaturübergreifende Limitationen	52
4.1.3	Lebensmittel betreffende Limitationen.....	53
4.1.4	Stofffärbung betreffende Limitation.....	53
4.2	Ergebnisdiskussion.....	53
4.2.1	Beantwortung der 1. Forschungsfrage	54
4.2.2	Beantwortung der 2. Forschungsfrage	55
5	Schlussfolgerung	58
5.1	Fazit.....	58
5.2	Ausblick	58
5.2.1	Walnüsse	58
5.2.2	Zwiebeln	59
5.2.3	Orangen.....	59
5.2.4	Avocados	59
5.2.5	Karotten	59
	Literaturverzeichnis.....	60
	Anhang.....	66
	Verzeichnis des Expertengesprächs	66

Abkürzungsverzeichnis

Beize A → Alaun + Weinsäure

Beize B → Alaun + Natriumcarbonat

Beize C → eine Kombination aus Tanninsäure und Alaun + Natriumcarbonat

BMEL → Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

CO → Baumwolle

FAO → Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen

k.I. → keine Information

LM → Lebensmittel

NEM → Nahrungsergänzungsmittel

NP → Nebenprodukt(e)

OS → Orangenschale(n)

PA 6.6 → Nylon

PES → Polyester

WNS → Walnussschale(n)

WO → Wolle

ZS → Zwiebelschale(n)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PRISMA Flow-Chart der ungerichteten Literaturrecherche	14
Abbildung 2: PRISMA Flow-Chart zur Schneeballmethode im Rahmen der gerichteten Literaturrecherche	15
Abbildung 3: Ausschlussverfahren der Nebenprodukte im Rahmen der Laborversuche	18
Abbildung 4: gefärbte Textilien nach der 1. Testfärbung, aber vor dem 1. Waschtest (eigene Darstellung).....	19
Abbildung 5: gefärbte Textilien nach der 1. Testfärbung und nach dem 1. Waschtest (eigene Darstellung).....	19
Abbildung 6: farblichen Ergebnisse nach der 2. Testfärbung (eigene Darstellung).....	20
Abbildung 7: mit Zwiebelschalen gefärbte Textilien nach Wiederholung der 2. Testfärbung und 3-maligem Waschen im Vergleich zur Referenz (Whittle, 2025).....	24
Abbildung 8: mit Walnussschalen gefärbte Textilien nach Wiederholung der 2. Testfärbung und 3-maligem Waschen im Vergleich zur Referenz (Whittle, 2025).....	25
Abbildung 9: Produktionsmenge von Orangensaft in Deutschland in den Jahren 2004 bis 2024 in Millionen Liter (Gerhus, 2025).....	35
Abbildung 10: Erntemenge von Möhren und Karotten im Freiland in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2024 in 1.000 Tonnen (Ahrens, 2025c)	46
Abbildung 11: Abfallhierarchie nach § 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (Koloo, 2023).....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stichwortabfrage bei PubMed	12
Tabelle 2: Stichwortabfrage bei Google Scholar	13
Tabelle 3: Stichwortabfrage bei ScienceDirekt	13
Tabelle 4: Stichwortabfrage bei FAO Knowledge Repository	13
Tabelle 5: Stichwortabfrage bei BMEL	13
Tabelle 6: Beweggründe für die sechs gestellten Fragen im Interview	16
Tabelle 7: Für die Forschungsversuche verwendete Materialien	17
Tabelle 8: Echtheitsnoten zu den gefärbten und mit Waschlösung gewaschenen Textilien nach der 1. Testfärbung (modifiziert nach: Whittle, 2025)	21
Tabelle 9: Echtheitsnoten der Wiederholung der 2. Testfärbung & nach 3-maligem Waschen (modifiziert nach: Whittle, 2025).....	23
Tabelle 10: Eigenschaften der Nebenprodukte von Walnüssen (eigene Darstellung)	27
Tabelle 11: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Walnüsse potenziell möglich wären (eigene Darstellung)	29
Tabelle 12: Eigenschaften der Nebenprodukte von Zwiebeln (eigene Darstellung)	32
Tabelle 13: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Zwiebeln potenziell möglich wären (eigene Darstellung)	33
Tabelle 14: Eigenschaften der Nebenprodukte von Orangen (eigene Darstellung)	37
Tabelle 15: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Orangen potenziell möglich wären (eigene Darstellung)	39
Tabelle 16: Eigenschaften der Nebenprodukte von Avocados (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 17: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Avocados potenziell möglich wären (eigene Darstellung)	44
Tabelle 18: Eigenschaften der Nebenprodukte von Karotten (eigene Darstellung)	47
Tabelle 19: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Karotten potenziell möglich wären (eigene Darstellung)	49

Zusammenfassung

In der industriellen Lebensmittelverarbeitung fallen enorme Mengen an Nebenprodukten an, die als Abfall entsorgt werden, obwohl sie großes Potenzial für weitere Verwendungen hätten. Das ist nicht nur eine Verschwendung wichtiger Ressourcen, sondern auch umweltschädigend. Ebenfalls vor Umweltproblemen steht die Textilindustrie. Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob es möglich ist diese beiden Bereiche miteinander zu kombinieren und für mehr Nachhaltigkeit zu sorgen. Ausgewählt wurden die Nebenprodukte von Zwiebeln, Karotten, Walnüssen, Avocados und Orangen. Zu der durchgeführten Literaturrecherche wurde zusätzlich im Rahmen einer begleitenden Forschung untersucht, ob sich diese Wertstoffe zum Färben von Textilien, wie Wolle, Baumwolle und Nylon eignen. Die Ergebnisse zeigen, dass dies zwar möglich ist, aber alternative Anwendungen, die in dieser Arbeit ebenfalls behandelt werden, in Betracht gezogen werden müssen, um auf Umweltprobleme besser einzugehen.

Abstract

Industrial food processing generates enormous quantities of by-products that are disposed of as waste, even though they have great potential for further use. This is not only a waste of important resources, but also harmful to the environment. The textile industry also faces environmental problems. This bachelor's thesis deals with the question of whether it is possible to combine these two areas and ensure greater sustainability. The by-products of onions, carrots, walnuts, avocados and oranges were selected. In addition to the literature research carried out, accompanying research was conducted to investigate whether these recyclable materials are suitable for dyeing textiles such as wool, cotton and nylon. The results show that this is possible, but alternative applications, which are also discussed in this thesis, must be considered in order to better address environmental issues.

1 Einführung

1.1 Definition relevanter Begriffe

1.1.1 Nebenprodukte

Nebenprodukte (NP) sind Reststoffe, die als Nebenströme bei der Verarbeitung, wie auch bei der Herstellung von Lebensmitteln (LM), anfallen und deren Vermeidung nicht möglich ist. Der Verzehr dieser Nebenprodukte ist für Menschen oft nicht geeignet oder in der Rohform ungeeignet. Die Nebenprodukte können in pflanzliche und tierische Nebenprodukte unterteilt werden. In dieser Bachelorarbeit liegt der Fokus ausschließlich auf den pflanzlichen NP. Zu den pflanzlichen NP gehören Schale, Haut, Kerne, Samen, Stiele, Blätter, Wurzeln, Presskuchen, Trester, ungenutztes Fruchtfleisch etc. (Röwer, 2021, S. 51).

1.1.2 Lebensmittelabfälle

Lebensmittelabfälle ist ein klar definierter Begriff, dessen Definition jedoch je nach Quelle variieren kann, aber immer dasselbe beschreibt.

Wird sich nach § 3 Abs. 7a des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gerichtet, dann sind Lebensmittelabfälle laut dieser Definition „alle Lebensmittel gemäß Artikel 2 der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates [...], die zu Abfall geworden sind“.

Laut der VO (EG) Nr. 178/2002 sind Lebensmittel alle Stoffe oder Erzeugnisse entlang der gesamten Lebensmittelkette (vom Erzeuger bis zum Verbraucher), die dazu bestimmt sind vom Menschen aufgenommen zu werden. Lebensmittel können auch nicht essbare Bestandteile beinhalten, wenn diese bei der Erzeugung vom Lebensmittel nicht getrennt werden, z.B. Stück Fleisch mit Knochen. Das heißt, dass Lebensmittelabfälle sowohl Bestandteile umfassen können, die für den menschlichen Verzehr vorgesehen sind, sowie Bestandteile, die es nicht sind (Schmidt et al., 2019, S 45).

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) orientiert sich ebenfalls an den europäischen Richtlinien und Verordnungen und hat den Begriff wie folgt definiert:

„Lebensmittelabfälle sind Lebensmittel, die entlang der Lebensmittelversorgungskette im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu Abfall geworden sind. Dazu zählen Lebensmittelverluste, die nach der Ernte z. B. bei der Lagerung und während Transport, Verarbeitung und Produktion anfallen und dem Abfallbegriff entsprechen“ und fügt hinzu: „Zu Abfällen werden Lebensmittel, deren sich jemand entledigt (hat), entledigen will oder muss“ (BMEL, 2019, S. 7).

Eine weitere Definition wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojektes FUSION unter dem Titel *Definitional Framework for Food Waste* veröffentlicht, die wie folgt lautet:

„Lebensmittelabfall ist jedes Lebensmittel sowie dessen ungenießbarer Anteil, welches der Lebensmittelwertschöpfungskette zur Rückgewinnung oder Entsorgung entnommen wird (einschließlich kompostierte Lebensmittel, untergepflügte Pflanzen, nicht geerntete Pflanzen, anaerobe Gärung, Produktion von Bioenergie, Verbrennung, Entledigung in Kanalisation, Mülldeponie oder Einleitung ins Meer)“ (Östergren et al., 2014, S. 6; übersetzt).

Oft wird in der Literatur jedoch nicht zwischen Nebenprodukten und Lebensmittelabfall unterschieden und die Nebenprodukte werden dem Lebensmittelabfall gleichgestellt bzw. untergeordnet, obwohl die beiden Begriffe differenziert werden sollten.

1.1.3 Lebensmittelverlust und -verschwendung

Im Zusammenhang mit dem Begriff Lebensmittelabfälle stehen oft die Wörter Lebensmittelverlust und Lebensmittelverschwendung.

Lebensmittelverlust ist der Verlust der verzehrbaren Masse eines Lebensmittels, das während der Verarbeitung entsteht. Die Ursache dafür können Schwachpunkte in der Lebensmittelkette sein, unausgereifte Technik oder mangelnde Ausbildung (Röwer 2021, S. 7).

Lebensmittelverschwendung ist das sich Entledigen von Lebensmitteln am Ende einer Lebensmittelversorgungskette durch den Handel oder den Endverbraucher. Gründe dafür können das Überschreiten des Mindesthaltbarkeitsdatums sein, Verderb oder ein Überangebot (Röwer, 2021, S. 7; Cederberg, Sonesson, 2011, S. 2).

Diese beiden Begriffe sind nur bei Lebensmitteln, die für den menschlichen Verzehr gedacht sind, anwendbar. Sie gelten nicht für Tierfutter oder Lebensmittelbestandteile, die nicht essbar sind (Cederberg, Sonesson, 2011, S. 2).

1.1.4 Phenolische Verbindungen

Die Phenolischen Verbindungen gehören zur Hauptgruppe der Sekundären Metaboliten, die in Pflanzen, darunter auch Obst und Gemüse, vorkommen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie an einem aromatischen Ringsystem eine oder gleich mehrere OH-Gruppen tragen. Je nach Pflanzenart kann ihre Struktur variieren. Aus diesem Grund ist keine allgemeingültige Aussage zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften möglich (Sticher, 2010, S. 1053). Jedoch belegen Forschungen, dass phenolische Verbindungen aus Lebensmitteln, je nach Herkunft, positive Eigenschaften haben können, wie Schutz des Immunsystems, Vorbeugung von Krankheiten, wie Krebs, Arteriosklerose oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen, außerdem auch gerinnungshemmend, antimutagen, entzündungshemmend oder antidiabetisch wirken können (M. Sánchez et al., 2021, S. 6; Bhardwaj et al., 2022, S. 2). In

allen Quellen in Bezug auf die 5 Lebensmittel, die in dieser Bachelorarbeit behandelt werden, werden die antioxidativen Eigenschaften der Phenolischen Verbindungen hervorgehoben.

Eine Unterkategorie der Phenole sind die Polyphenole. Die am häufigsten vorkommenden Polyphenole sind die Flavonoide (60 %) und die Phenolsäuren (30 %) (M. Sánchez et al., 2021, S. 6). Einige LM beinhalten Polyphenole, die eine antibakterielle Wirkung haben. Das macht die NP dieser LM für die Kompostierung weniger geeignet, da dadurch Bakterien und Pilze ferngehalten werden (Dietz, 2008).

Phenolische Verbindungen sind nicht nur als Teil der Ernährung relevant, sondern finden auch als Gerbstoffe in der Textilindustrie Verwendung (Sticher, 2010, S. 1159).

1.1.5 Bio-Sorptionsmittel

Sorptionsmittel sind unlösliche Materialien oder Stoffgemische. Sie können feste oder flüssige Stoffe sein, die in der Lage sind, andere Substanzen aus der Umgebung z.B. aus Flüssigkeiten oder Luft aufzunehmen. Dies geschieht durch die Adsorption – Flüssigkeitsmoleküle bleiben an der Oberfläche des eingesetzten Materials haften – oder durch die Absorption – Moleküle eines Stoffes werden bei Kontakt mit dem Sorptionsmittel vollständig aufgenommen – oder durch beides gleichzeitig. Sorptionsmittel werden zur Reinigung der Umwelt eingesetzt, um z.B. Öl, Farbe, Chemikalien oder Lösungsmittel aus Gewässern zu entfernen. Es gibt drei Kategorien, in die Sorptionsmittel eingeteilt werden können: natürliche organische (hauptsächlich pflanzlichen Ursprungs), natürliche anorganische (Mineralien und Gestein) und synthetische (künstlich hergestellte Materialien, die Kunststoff ähneln). Unter dem Begriff Bio-Sorptionsmittel sind also Sorptionsmittel einzuordnen, die einen biologischen Ursprung haben und somit natürlich organisch sind (U.S. Environmental Protection Agency, 2016; PCC-Group, 2022).

1.1.6 Beize

Die Beize ist ein flüssiges Hilfsmittel, das in der Textilfärberei eingesetzt wird, um damit Textilien unter anderem vorzubehandeln, damit die Farbe darauf besser haftet. Nicht alle Farbstoffe sind dazu in der Lage sich direkt mit den Fasern eines Stoffes zu verbinden und brauchen dazu Hilfe. Beizen gehen mit Textilien eine chemische Bindung ein, woran sich der Farbstoff dann binden kann. Das Vorbehandeln macht die Farbe der Textilien länger haltbar und erhöht ihre Waschbeständigkeit (Muntwyler, 2010).

1.1.7 Farbstoffe und Pigmente

„Farbstoffe sind organisch-chemische Verbindungen, die in die amorphen Bereiche von Fasern als Einzelmoleküle wandern und dort direkte Wechselwirkungen zu Fasern aufbauen können. Damit unterscheiden sie sich von Pigmenten, die mit Hilfe eines Bindemittels auf Fasern fixiert werden müssen (Rouette, 2008, S. 43). Sie unterscheiden sich auch in ihrer Wasserlöslichkeit, denn Farbstoffe sind in Wasser löslich und Pigmente nicht. Farbstoffe und Pigmente können unter dem Begriff Farbmittel als Stoffe mit farbgebenden Eigenschaften zusammengefasst werden (Vollenhofer, 2023, S. 150). Die Farbigkeit entsteht durch einen molekularen Aufbau aus alternierenden Einzel- und Doppelbindungen. Diese Strukturen werden auch Chromophore genannt und ermöglichen die Absorption von bestimmten Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Die Wellenlängen, die reflektiert werden, ergeben den Farbeindruck. Neben Chromophoren benötigen Farbstoffe auch Auxochrome, um die Wasserlöslichkeit und die Substantivität gegenüber Fasern zu erhöhen (Holme, 2016, S. 234). Substantivität beschreibt die Tendenz der Farbstoffe, sich an eine Faser zu binden (Ebner, Schelz & Rechstein, 1989, S. 232). Zu den Auxochromen gehören Amino-, substituierte Amino-, Hydroxyl-, Sulfon- und Carboxylgruppen (Holme, 2016, S. 234).“ (Whittle, 2025)

1.2 Berücksichtigte Sektoren entlang der Lebensmittelkette

Es gibt in Deutschland 5 Sektoren in denen Lebensmittelabfälle und Nebenprodukte (NP) anfallen, die im Jahr 2022 zusammen ca. 10,8 Mio. t an weggeworfener Masse betragen:

1. Primärproduktion (2 % mit ca. 0,2 Mio. t pro Jahr)
2. Verarbeitung/ Industrie (15 % mit ca. 1,6 Mio. t pro Jahr)
3. Handel (7 % mit ca. 0,8 Mio. t pro Jahr)
4. Außer-Haus-Verpflegung (18 % mit ca. 2 Mio. t pro Jahr)
5. private Haushalte (58 % mit ca. 6,3 Mio. t pro Jahr) (BMEL, 2024)

In dieser Arbeit wird sich auf die beiden ersten Sektoren, die Primärproduktion und vor allem die Verarbeitungsindustrie, bezogen, die zusammen ca. 1,8 Mio. t pro Jahr an weggeworfenen Lebensmitteln (LM) und NP in Deutschland ausmachen.

Die anderen drei Sektoren, der Handel, die Außer-Haus-Verpflegung und die privaten Haushalte, wurden ausgeschlossen, da die Abfälle dieser Sektoren inhomogen sind, geographisch zu weit verteilt und auf sie nur sehr schwer oder gar nicht zugegriffen werden könnte. Diese Faktoren schließen eine Verwendung in anderen Feldern wie z.B. der Textilindustrie aus.

1.3 Wahl der Nebenprodukte

Für diese Arbeit wurden ausschließlich pflanzliche NP berücksichtigt und tierische ausgeschlossen, weil Pflanzen im Allgemeinen für ihre färbenden Eigenschaften bekannt sind und die Schalen vieler Früchte und Gemüsesorten einen kräftigen Farbton haben. Im Rahmen der zugehörigen Laborarbeit wurde versucht den Farbton zu extrahieren.

Außerdem sind Obst und Gemüse die am häufigsten genutzten Rohstoffe unter allen Gartenbaukulturen, da deren Verwendung sehr vielfältig, beliebt und notwendig ist. Mit der wachsenden Weltbevölkerung und der zunehmenden Nachfrage und dem steigenden Anbau, hat sich auch die Verarbeitung von Obst und Gemüse erhöht und damit auch die Menge der NP, die dabei anfallen. Laut den Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) sind global unter allen Lebensmitteln die Abfallmengen und Verluste bei Obst und Gemüse am höchsten und können bis zu 60 % betragen. Die Menge an Nebenprodukten, die bei der Verarbeitung der LM anfällt, kann dabei 25 – 30 % der verarbeiteten Masse ausmachen (Sagar et al., 2018, S. 512).

1.4 Probleme mit der Entsorgung der Lebensmittelnebenprodukte

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, wie Lebensmittelnebenprodukte entsorgt werden können. Üblich sind Entsorgungen auf Deponien oder in Verbrennungsanlagen oder Abgabe an Bauernhöfe als Tierfutter oder als Material zum Kompostieren. Diese Möglichkeiten stellen jedoch ein wirtschaftliches und ökologisches Problem dar (Sánchez et al., 2015; Negro et al., 2017).

Wenn Lebensmittel oder Teile von ihnen nicht genutzt werden, dann handelt es sich dabei auch mitunter um Ressourcen, die für die Produktion dieser Lebensmittel(teile) verschwendet werden. Es wird Land benötigt, um die LM anzubauen. Diese Fläche muss gedüngt und mit Süßwasser bewässert werden. Mit Fahrzeugen und Geräten werden die LM dann geerntet, was alles Zeit, Energie und Geld kostet und auf die Umwelt Auswirkungen hat (Sagar et al., 2018, S. 513).

Das Kompostieren hat für die Landwirtschaft seine Vorteile, jedoch handelt es sich dabei auch um einen Prozess bei dem von Natur aus Emissionen, wie die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas, während des Abbaus von organischen Substanzen, entstehen. Diese können erheblich zur globalen Erderwärmung beitragen. Durch das Verbrennen der NP gelangen Treibhausgase ebenfalls in die Umwelt. Ein weiterer Nachteil sind die bei der Kompostierung entstehenden Geruchsemissionen, die mögliche Einwohner in der Nähe belästigen könnten. Auch die Bildung von Ammoniakemissionen ist möglich, die zwar kein Treibhausgas sind, die aber zu saurem Regen führen können. Bei richtiger Aufbringung in der Landwirtschaft kann der Kompost aber auch dafür sorgen, dass Kohlenstoff im Boden gebunden bleibt. LM mit einem niedrigem C/N-Verhältnis und hohem Wassergehalt haben ein großes Potenzial für die Entstehung von Treibhausgasemissionen, sowohl bei der Lagerung als auch bei der Kompostierung. Abhängig von der chemischen

Zusammensetzung und der Abbaufähigkeit sind manche Lebensmittel für den Kompost weniger geeignet als andere (Sánchez et al., 2015). Zudem ist die Kompostierung wirtschaftlich kostspielig und der produzierte Kompost hat auf dem lokalen Markt oft nur eine geringe Nachfrage (Negro et al., 2017).

Das Problem mit den Deponien ist, dass auch hier das schädliche Treibhausgas Methan entsteht, das auf die unkontrollierte Zersetzung der Lebensmittelabfälle zurückzuführen ist. Die angewendeten Technologien, die zur Verbesserung der Verarbeitung und Entsorgung der Abfälle beitragen sollen, stehen vor wirtschaftlichen und technologischen Hürden, wie z.B. hohen Kapitalkosten oder schwankende Leistungsfähigkeit, die je nach Beschaffenheit der LM variieren kann (Babbitt, 2017). Zudem wird in Art. 1 Abs. 1 der Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien von der Deponierung organischer Abfälle abgeraten oder eine Minimierung empfohlen, da sonst die Verschmutzung von Oberflächengewässern, Grundwasser, Boden, Luft und der globalen Umwelt die Folgen sind und mit Risiken für die menschliche Gesundheit einhergehen.

Zu beachten ist auch, dass die riesigen Mengen an Lebensmittelabfällen zu den Deponien transportiert werden müssen, was mit einem weiteren Ausstoß von Treibhausgasen und Kosten verbunden ist und den wirtschaftlichen Vorteil der Vor-Ort-Behandlung begünstigt (RedCorn, Fatemi & Engelberth, 2018). Der Aspekt des Transportes ist etwas das auch bei der Verfütterung ans Vieh beachtet werden muss.

Die Verfütterung der Nebenprodukte an Tiere ist ein etabliertes Verfahren, dass für manche Nebenströme absolut sinnvoll ist, jedoch gilt das nicht für jedes Lebensmittel. Manche Nebenprodukte sind als Viehfutter nicht geeignet, da sie geschmacklich und ernährungsphysiologisch für die Tiere unpassend sind und zusätzlich aufbereitet werden müssen (Negro et al., 2017).

1.5 Probleme mit der Textilindustrie

Die Textilindustrie gilt als eine der Hauptquellen für Umweltverschmutzung durch Farbstoffe. Diese gelangen in die umliegenden Gewässer der Fabriken und schädigen das Ökosystem. Üblich ist der Einsatz von synthetischen Farbstoffen, von denen viele hoch toxisch sind und das Potenzial haben Krebs und andere Krankheiten zu verursachen, sowohl bei Menschen wie auch bei Tieren. Die Toxizität ist unter anderem auf Schwermetalle, wie z.B. Kobalt, Kupfer, Nickel, Chrom, etc., im Farbstoff zurückzuführen, deren Grenzwert überschritten sein kann. Außerdem enthaltenen Farbstoffe reizende Chemikalien und besitzen die Fähigkeit mit anderen Substanzen in der Umgebung zu reagieren und giftige Zwischenprodukte zu bilden. Abgesehen vom Krebs können die gesundheitlichen Folgen unter anderem Bindehautentzündung, Asthma, Dermatitis, Allergien, Organversagen, Störungen des zentralen Nervensystems, Schädigungen des Erbguts, etc. sein (Singh, 2024, S. 4 f., 11 f.).

Dadurch, dass Textilabwässer in die umliegenden Gewässer abgelassen werden, wird das Wasser verschmutzt. Diese Verunreinigung beeinträchtigt die Trinkwasserversorgung von Menschen

und Tieren und schadet den umliegenden Pflanzen, dem Boden und der Luft. Das kontaminierte Wasser wird zur Bewässerung benutzt und gelangt so in die Ackerböden und Nahrungsmittel und kann die Bodenfruchtbarkeit verringern. Die Farbstoffe trüben das Wasser, was dazu führt, dass durch das verringerte Sonnenlicht die Pflanzen keine Fotosynthese betreiben können. Auch unangenehme Gerüche sind die Folge (Singh, 2024, S. 17 f., 20 f.).

Im Gegensatz dazu sind natürliche Farbstoffe biologisch abbaubar und haben kaum eine Auswirkung auf die Umwelt, weil ihre Entsorgung keine Verschmutzung des Ökosystems zur Folge hat, da sie aus der Natur gewonnen werden. Das Problem mit Naturfarbstoffen ist jedoch, dass die Farbenvielfalt sehr begrenzt ist, sie nicht sehr gut an Textilien binden und mit einem langen und kompliziertem Färbeprozess verbunden sind (Singh, 2024, S. 33, 37 ff.).

1.6 Aktueller Stand zur Entsorgung und Verwendung der Nebenprodukte

Für die begleitende Forschung dieser Arbeit wurden die Nebenprodukte von 5 Obst- und Gemüsepflanzen ausgewählt. Dabei handelt es sich um die Reststoffe von Zwiebeln, Karotten, Walnüssen, Avocados und Orangen. Dieser Teil der Arbeit soll einen Überblick geben, welche typischen Entsorgungsmethoden auf die jeweiligen Lebensmittelnebenströme zutreffen und welche Verwertungsmöglichkeiten sich bereits etabliert haben. Auch wenn die NP wie Abfall behandelt werden, ist es wichtig hervorzuheben, dass es sich dabei nicht um Lebensmittelabfall handelt. Die Angaben beziehen sich nicht zwangsläufig auf Deutschland, sondern beschreiben die Praxis im Allgemeinen.

Was auf alle LM zutrifft, ist, dass deren Inhaltsstoffe, wie z.B. die Vitamine, Mineralstoffe, Ballaststoffe etc. und ihre Wirkungen im Allgemeinen bereits gut erforscht sind. Das gilt sowohl für das LM selbst wie auch für die NP.

1.6.1 Zwiebeln

Zwiebelnebenprodukte werden auf Deponien entsorgt oder als Bodenverbesserungsmittel eingesetzt, was negative Auswirkungen auf die Umwelt hat, den Wachstum von weißem Schimmel fördern und bei Pflanzen einen phytotoxischen Effekt auslösen kann. Als Viehfutter sind Zwiebelnebenprodukte auch nicht geeignet, da sie für die Tiere ein zu starkes Zwiebelaroma haben (Kumar et al., 2022), und können aufgrund ihres hohen Feuchtigkeitsgehaltes schlecht verbrannt werden (El Mashad, Zhang & Pan, 2019, S. 274).

In der praktischen Anwendung werden Zwiebel-NP dafür verwendet, um durch biochemische Prozesse, wie der anaeroben Vergärung, Biogas zu produzieren. Das gewonnene Biogas kann als Kraftstoff oder zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet werden (El Mashad, Zhang & Pan, 2019, S. 284 f.).

Neben den biochemischen Prozessen gibt es die thermochemischen Prozesse, wie z.B. die Vergasung, Verbrennung oder Pyrolyse. Das Endergebnis ist Wärme, Synthesegas, Bioöl, Biokohle und Asche, die ebenfalls zur Energiegewinnung genutzt wird. Im Bereich der thermochemischen Behandlung sind in Bezug auf Zwiebelnebenprodukte jedoch noch weitere Forschungen notwendig (El Mashad, Zhang & Pan, 2019, S. 284 f.).

1.6.2 Karotten

Eine übliche Verwendung der Nebenprodukte der Karotten, inklusive des Karottengrüns, ist die Verfütterung an Tiere, Kompostierung, Entsorgung auf Deponien oder die Verarbeitung zum Dünger (Barzee et al., 2019, S. 304, 309). Der Mangel an fortschrittlichen Technologien erschwert die Weiterverwertung, dennoch werden die Reststoffe der Karotte auch zur Herstellung von Fast-Food-Boxen verwendet und der Bioethanolproduktion. Zudem wird aus den Wurzeln, Blättern und den Samen der Karotte ein ätherisches Öl gewonnen, das auch als Lebensmittelfarbstoff verwendet werden kann und in der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie, z.B. zum Schutz der Haut, eingesetzt wird (Ding, Liu, 2024).

In der Lebensmittelindustrie wird aus den NP der Karotte das Carotinoid extrahiert und zur Färbung von verschiedenen LM verwendet, wie z.B. fettreichen Lebensmitteln, Süßigkeiten, Eis oder Obst. Das Carotinoid wird als Bestandteil auch dazu verwendet, um eine intelligente biologisch abbaubare Folie herzustellen, die in der Lage ist den Verderb und Qualität von Fleischprodukten, Meeresfrüchten, Milch und anderen LM zu überwachen (Ding, Liu, 2024).

1.6.3 Walnüsse

Walnussschalen (WNS) haben ein großes Weiterverwertungspotenzial, gelten momentan aber noch als Abfallprodukte. Die Schalen werden in den Verarbeitungsländern häufig in der umliegenden Umgebung (zum Kompostieren) im Freien entsorgt oder werden für Heizungszwecke verbrannt. Obwohl es innovative Ideen gibt, wie die Walnussschalen weiterverwertet werden könnten, scheitert es momentan noch an der mangelnden Forschung und der Technologie (Khir, Pan, 2019, S. 392, 399).

Lediglich die Blätter der Walnusspflanze und teilweise die grünen äußeren WNS haben sich in Bezug auf die Weiterverwertung bereits etabliert. Sie werden in der Kosmetik- und der Pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Besonders die Blätter sind in der Volksmedizin beliebt. Sie werden benutzt, um Entzündungen der Haut, Hyperhidrose, Geschwüre oder Durchfall zu behandeln. Ihnen wird eine antiparasitäre, antiseptische und adstringierende Wirkung zugesprochen. Häufig werden die Blätter getrocknet und dann als Aufgüsse verwendet (Khir, Pan, 2019, S. 398–399; Jahanban-Esfahlan et al., 2020).

1.6.4 Avocados

Avocadoschalen und -kerne werden momentan noch als Abfall angesehen und dementsprechend auf Deponien entsorgt oder vor Ort verbrannt. Allein in Bezug auf die Kerne, werden jährlich weltweit 148.000 t weggeworfen. An das Vieh können sie nicht verfüttert werden, da sie für Tiere zu bitter sind und in großen Mengen giftig sein können (Coman et al., 2020; Benvenuti et al., 2025).

Die Nebenströme der Avocados finden bereits Anwendung im Bereich der Energieerzeugung. Das gewonnene Zellstofföl wird zur Herstellung von Biodiesel verwendet. Momentan steht die Frage noch offen, ob das Kernöl für die Synthese von Biodiesel, Holzkohle, flüssigen Kraftstoffen und Kraftstoffzusätzen ebenfalls verwendet werden könnte (Colombo, Papetti, 2019, S. 944).

1.6.5 Orangen

Möglichkeiten, um sich der NP der Orangen zu entledigen, ist häufig die Deponierung, Verbrennung, Entsorgung auf offenem Feld, Kompostierung oder die Verfütterung ans Vieh. Orangenschalen haben für die Zersetzung einen hohen biochemischen Sauerstoffbedarf, ein hohes C/N-Verhältnis und einen hohen Wassergehalt, was sie für die Kompostierung und Deponierung eher ungeeignet macht und zudem eine Schimmelbildung begünstigt. Die Verfütterung an Rinder ist gängige Praxis, jedoch wird nur ein Teil der entstehenden NP dem eigentlichem Tierfutter als Zutat beigemischt. Die anfallenden NP-Mengen sind viel größer als die Mengen, die die Tiere essen könnten. Außerdem sind mit der Verwendung als Tierfutter auch zusätzliche Kosten verbunden, da die Orangenschalen nicht nur einen Dehydratisierungsprozess durchlaufen, der energieintensiv ist, sondern auch oft über weite Strecken zu den Rindern transportiert werden müssen. Außerdem können die Zitrusabfälle für das Vieh bitter schmecken (Negro et al., 2017; Coman et al., 2020; Cirrincione et al., 2024).

Nachhaltigere Weiterverwendungen der Orangen-Restströme lassen sich im Bereich der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie wiederfinden. Es ist möglich aus den Orangenschalen ätherische Öle zu extrahieren oder Zitrusfasern herzustellen, die häufig in Seifen, Parfüms, Ölen, Kosmetika und anderen Haushalts- und Körperpflegeprodukten, wie Badebomben oder Cremes, aber auch in Reinigungsmitteln, Anwendung finden. Im Bereich der Lebensmittelindustrie werden die NP unter anderem in Soßen, Getränken, Muffins und vielen anderen LM verarbeitet. Ein Unternehmen, das sich der Wiederverwertung von weggeworfenen Orangenschalen widmet, heißt *PeelPioneers* und ist ein 2017 gegründetes Scale-up-Unternehmen mit dem Sitz in den Niederlanden. Jährlich verarbeiten sie mehr als 30 Mio. kg Orangenschalen und davon werden 100 % verwertet. Die Schalen beziehen sie aus Saftpresen von Hotels, Supermärkten und Co. (Eliopoulos et al., 2022; Betjemann, 2023; PeelPioneers, 2025).

1.7 Fragestellung

Sowohl die Lebensmittelindustrie wie auch die Textilindustrie stehen vor Problemen, die es zu lösen gibt. Die Lebensmittelindustrie sucht nach einer Verwendung für die riesigen Mengen an anfallenden Nebenprodukten und die Textilindustrie verursacht weitreichende Umweltschäden durch die toxischen Farben. Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Lösungsfindung für beide Bereiche. Ziel ist es herauszufinden, ob bestimmte Nebenströme dazu verwendet werden können, um mit ihnen Textilien qualitativ zu färben und die Textilabwässer somit umweltfreundlicher zu machen. Am Ende dieser Arbeit sollen die folgenden zwei Forschungsfragen beantwortet werden:

1. Welche pflanzlichen Nebenströme aus der Lebensmittelindustrie in Deutschland eignen sich am besten für die Wiederverwertung in der Stofffärbung, um das beste farbliche Ergebnis zu erreichen und das Wegwerfen der Lebensmittelnebenprodukte zu reduzieren?
2. Ist es möglich ein Verwertungskonzept für pflanzliche Lebensmittelnebenströme mit Bezug zur Textilindustrie zu entwickeln, das eine vollständige Nutzung der Reststoffe ermöglicht oder zumindest die verbleibenden Rückstände auf ein Minimum reduziert?

Für die Färbung sollen ausschließlich Reststoffe verwendet werden, die noch keinen oder nur einen sehr geringen Verwendungszweck in der Lebensmittel- und Futterindustrie haben.

1.8 Aufbau der Arbeit

Im ersten Kapitel dieser Arbeit werden die Hintergründe und die Ausgangslage erläutert und die Forschungsfragen formuliert, deren Beantwortung in der Schlussfolgerung angestrebt wird. Im zweiten Kapitel wird das Vorgehen in Bezug auf die Literaturrecherche nahegelegt, die Herangehensweise hinsichtlich des geführten Experteninterviews erklärt und auf die verwendeten Materialien während der begleitenden Forschung verwiesen. Diese Arbeit ist Teil einer Zwillingsbachelorarbeit, deren anderer Teil von Catalina Whittle mit dem Titel *Färbeversuche mit Nebenströmen der Lebensmittelindustrie – Eine Einschätzung der Verwertbarkeit von Lebensmittelreststoffen in der industriellen Textilfärberei* erstellt wurde. Der Fokus der anderen Arbeit liegt auf der Textilfärbung und der dazugehörigen Forschung. Dort werden weitere Aspekte der Textilverarbeitung thematisiert, wie die Schweißechtheitsprüfung, Reibechtheitsprüfung, Lichtechtheitstests und weitere Waschechtheitsprüfungen, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Im dritten Kapitel werden die Ergebnisse beider Arbeiten vorgestellt. Sowohl die Ergebnisse der Literaturrecherche wie auch die Ergebnisse der Forschung. Zum Schluss werden die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert und in der Schlussfolgerung zusammengefasst.

2 Methode

2.1 Literaturrecherche

Bei der Suche nach geeigneter Literatur wurde sowohl die Methode der systematischen Literaturrecherche angewendet wie auch die Schneeballmethode.

2.1.1 Systematische Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche wurde in zwei Etappen durchgeführt. Bei der ersten Etappe handelt es sich um eine ungerichtete Literaturrecherche und bei der zweiten um eine gerichtete. Die ungerichteten Literaturrecherche ist eine Vorrecherche, die dazu diente, um einen groben Überblick über das Thema zu erhalten. Sobald es feststand, welche LM und deren Reststoffe in die Arbeit einbezogen werden, begann die gerichtete Literaturrecherche.

Für die ungerichtete Literaturrecherche wurde hauptsächlich die Datenbank PubMed benutzt, aber auch Google Scholar, ScienceDirect, FAO Knowledge Repository und BMEL.

Bei allen Datenbanken, bis auf BMEL, wurden die Suchbegriffe auf Englisch eingegeben. Ergänzt wurde die Suche durch die Booleschen Operatoren AND und OR. Die Ergebnisse der Stichwortabfrage sind ohne Anwendung von Suchfiltern, aber inklusive der Booleschen Operatoren in Tabelle 1 bis 5 aufgeführt.

Tabelle 1: Stichwortabfrage bei PubMed

Stichwort	Anzahl der Ergebnisse bei PubMed
food byproducts	6.657
food waste	9.791
food residues	13.929
food byproducts AND fruits	1.150
food byproducts AND vegetables	431
food byproducts AND fruits AND vegetables	230
food waste AND fruits AND vegetables	490

Die Ergebnisse der Stichwortabfrage sind nur bei PubMed von Anfang an mit Suchfilter *full text* und *free full text* gewesen.

Tabelle 2: Stichwortabfrage bei Google Scholar

Stichwort	Anzahl der Ergebnisse bei Google Scholar
food byproducts	1.510.000
food waste	3.960.000
food residues	5.950.000
food byproducts AND fruits	154.000
food byproducts AND vegetables	105.000
food byproducts AND fruits AND vegetables	72.000
food waste AND fruits AND vegetables	877.000

Tabelle 3: Stichwortabfrage bei ScienceDirekt

Stichwort	Anzahl der Ergebnisse bei ScienceDirekt
food byproducts	216.697
food byproducts AND fruits AND vegetables	31.515
food waste AND fruits AND vegetables	54.083

Tabelle 4: Stichwortabfrage bei FAO Knowledge Repository

Stichwort	Anzahl der Ergebnisse bei FAO
food byproducts	3.056
food waste	13.307
food residues	8.121
food byproducts AND fruits AND vegetables	1057
food byproducts AND fruits OR vegetables	3.056

Tabelle 5: Stichwortabfrage bei BMEL

Stichwort	Anzahl der Ergebnisse bei BMEL
Lebensmittel Nebenströme	4
Lebensmittelabfälle	198
Lebensmittelverschwendung	252
Lebensmittel Reststoffe	44

Da es das Ziel der ungerichteten Literaturrecherche war, einen groben Überblick über das Thema zu erhalten, wurden von den gefundenen Suchtreffern die Ergebnisse der Schlagwortsuche *food byproducts AND fruits AND vegetables* verwendet. Diese schienen das Thema am besten darzustellen. Nur bei BMEL wurden zunächst alle gefundenen Treffer berücksichtigt, da deren Gesamtzahl relativ übersichtlich war.

Für die weitere Eingrenzung wurde eine übersichtliche Anzahl an Quellen ausgewählt, deren Überschriften den Eindruck vermittelten, dass der Artikel das Thema gut wiedergibt. Der vollständige Prozess der ungerichteten Literaturrecherche ist in einem PRISMA Flow-Chart in Abbildung 1 dargestellt.

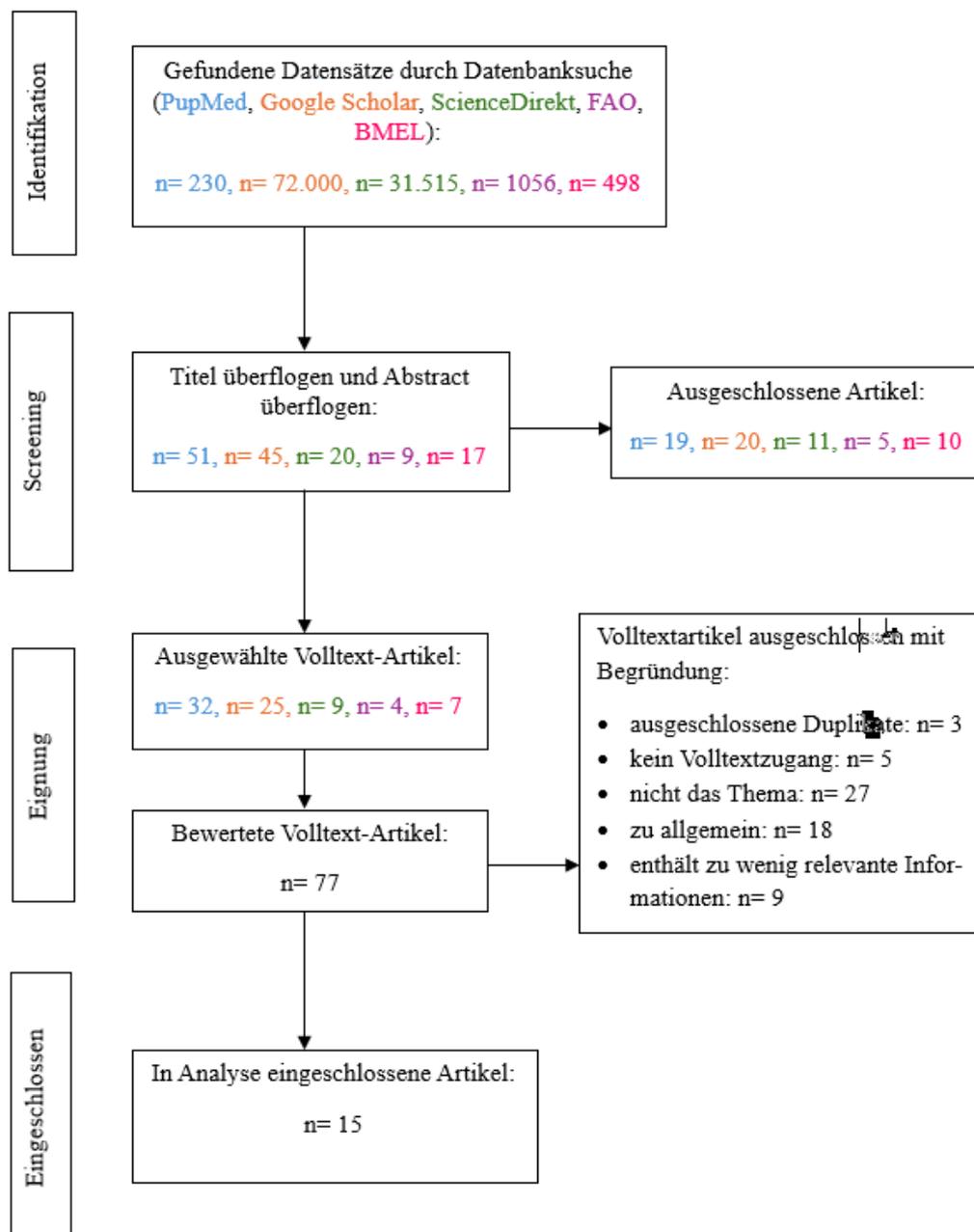


Abbildung 1: PRISMA Flow-Chart der ungerichteten Literaturrecherche

Für die gerichtete Literaturrecherche wurde fast ausschließlich die Datenbank PubMed benutzt. Als Suchbegriff wurde hauptsächlich *byproducts* verwendet mit einem der fünf Lebensmittel auf Englisch dahinter, wie z.B.: *byproducts onion*, oder das gesuchte Thema wurde direkt eingegeben, z.B. *onion peel, orange peel etc.*

2.1.2 Schneeballmethode

Bei der Schneeballmethode wurden die Quellen aus den Quellenverzeichnissen von den bereits gefundenen und als nützlich befundenen Quellen rausgesucht. Die Schneeballmethode wurde im Rahmen der gerichteten Literaturrecherche durchgeführt. Der komplette Prozess ist im PRISMA Flow-Chart in Abbildung 2 dargestellt.

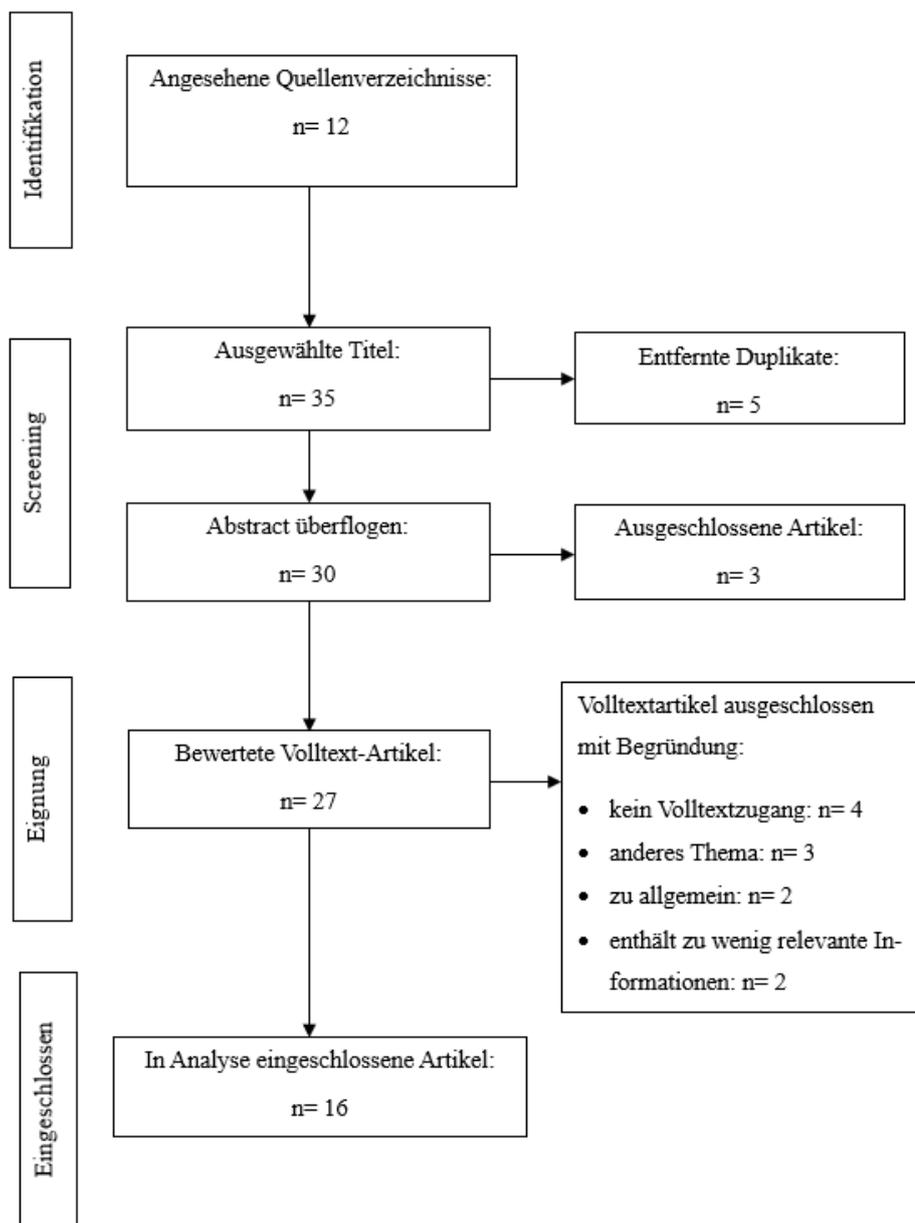


Abbildung 2: PRISMA Flow-Chart zur Schneeballmethode im Rahmen der gerichteten Literaturrecherche

2.2 Interview

In diesem Teil der Arbeit wird erklärt, was die Beweggründe für die gestellten Fragen im Experteninterview mit der Zwiebel Jansen GmbH waren. Die Zwiebel Jansen GmbH ist ein Unternehmen in Deutschland, das sich darauf spezialisiert hat Zwiebeln zu schälen und bei Nachfrage auch klein zu schneiden. Die Fragen wurden per E-Mail gestellt und beantwortet. Der Grund für die Fragen war, dass trotz der gründlichen Recherche, manche Informationen immer noch nicht ausführlich genug waren, um ausreichend Gewissheit zu vermitteln. Manche Fragen wurden gestellt, um eine Bestätigung zu den bereits vorhandenen Angaben zu bekommen, oder um zu erfahren, wie speziell dieses Unternehmen bestimmte Dinge in Deutschland handhabt. In Bezug auf die meisten Schälprozesse von Zwiebeln gab es in den Quellen keine Angaben auf das Land, in dem sie stattfinden, was je nach Zusammenhang eine Wissenslücke darstellte. An das Unternehmen wurden 6 Fragen gestellt deren Beweggründe in Tabelle 6 dargestellt sind. Das vollständige Interview ist im Ergebnisteil aufgeführt.

Tabelle 6: Beweggründe für die sechs gestellten Fragen im Interview

Frage Nr.	Grund für die Frage
1	persönliches Interesse, zur Bestätigung der vorhandenen Daten
2	uneinheitliche Angaben in der Literatur, Interesse zur Handhabung dieses Unternehmens
3	so gut wie keine Angaben in der Literatur zu diesem Thema, Information ungenau
4	so gut wie keine Angaben in der Literatur zu diesem Thema, Information ungenau
5	uneinheitliche Angaben in der Literatur, Information ungenau, Interesse zur Handhabung dieses Unternehmens
6	persönliches Interesse, keine Angaben in der Literatur zu diesem Thema in deutscher Sprache, Übersetzung wird benötigt, aber nicht vorhanden

2.3 Materialien

In Tabelle 7 sind alle Gegenstände, Utensilien und Chemikalien dargestellt, die für die Forschungsversuche im Labor verwendet wurden. Sie sind in 5 Kategorien eingeordnet.

Tabelle 7: Für die Forschungsversuche verwendete Materialien

Kategorie	verwendete Gegenstände/ Chemikalien
Textilien	Wolle, Baumwolle, Nylon
Färbemittel	Avocadoschale und -kern, gelbe trockene Zwiebelschalen, Orangenschalen, Karottengrün, Karottentrester, grüne getrocknete Walnusschalen
Utensilien	Messzylinder, Bechergläser, Glasstäbe, Magneten, entionisiertes H ₂ O, Pinzetten, Messbecher, Papiertücher, Becherglaszange, Textilschere, Lineal, Stift, Waschmittellösung (ECE(B) 4g/L), Metallbecher für Färbeautomaten (Labomat)
technische Geräte	Feinwaage, Magnetheizplatten mit Temperaturfühler, Timer, UV/Vis-Gerät, Computer, Mathis Labomat, Föhn
Beizen	Alaun (Aluminiumkaliumsulfat-Dodecahydrat ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$)), Alaun + Weinsäure (Weinstein ($C_4H_5KO_6$)), Alaun + Natriumcarbonat (Na_2CO_3), Tanninsäure ($C_76H_52O_{46}$)

3 Ergebnisse

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Ergebnissen der Literaturrecherche. Die Ergebnisse bezüglich der Textilfärbung und der damit verbundenen Laborarbeit beziehen sich auf die Bachelorarbeit von Catalina Whittle mit dem Titel *Färbeversuche mit Nebenströmen der Lebensmittelindustrie – Eine Einschätzung der Verwertbarkeit von Lebensmittelreststoffen in der industriellen Textilfärberei*.

3.1 Ausschlussverfahren der Nebenprodukte

Zu Beginn der begleitenden Forschung wurden die folgenden fünf NP ausgewählt, um zu versuchen mit ihnen Textilien zu färben: Avocadoschale und -kern, gelbe trockene Zwiebelschalen, Orangenschalen, Karottengrün, Karottentrester (nach Saftpressung) und grüne getrocknete Walnusschalen. Die Wahl fiel auf diese NP, weil sie in großen Mengen in der Lebensmittelindustrie anfallen, meistens als Abfall entsorgt werden, kräftige Farben haben oder ihre Fähigkeit zur Färbung von Textilien bereits bekannt war. Während der Laborversuche wurde festgestellt, dass nicht alle Reststoffe sich zum Färben von Textilien eignen. Das Ausschlussverfahren wird als Fließdiagramm in Abb. 3 dargestellt.

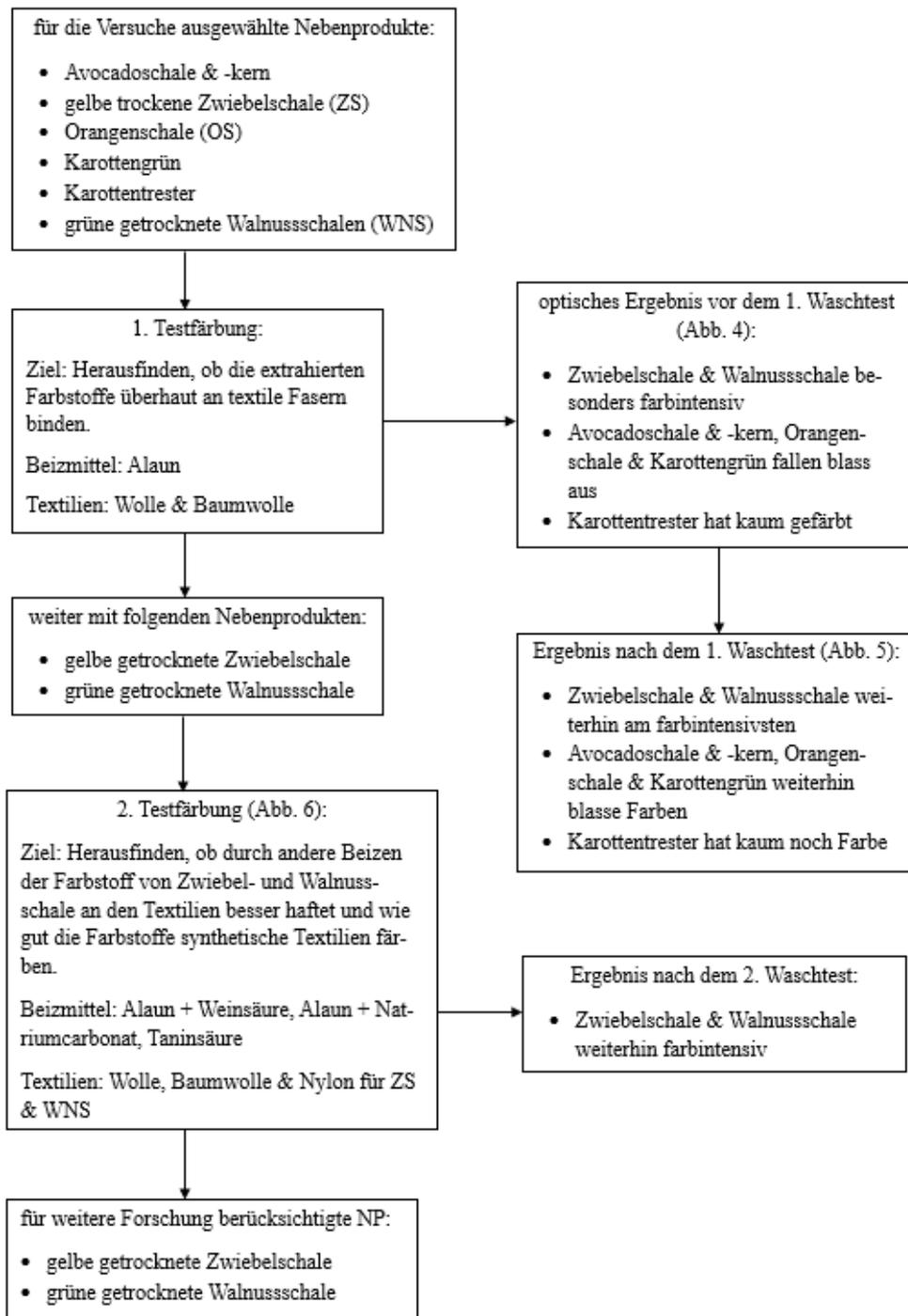


Abbildung 3: Ausschlussverfahren der Nebenprodukte im Rahmen der Laborversuche

Abbildung 4 zeigt die gefärbten Stoffe nach der 1. Testfärbung und vor der dem 1. Waschtest. Zum Vergleich finden sich die Referenzstoffe in der oberen Ecke rechts. Gefärbt wurde im ersten Durchgang jeweils ein Stück Baumwolle (CO) (jeweils oben) und ein Stück Wolle (WO) (jeweils unten).



Abbildung 4: gefärbte Textilien nach der 1. Testfärbung, aber vor dem 1. Waschtest (eigene Darstellung)

Abbildung 5 zeigt die gefärbten Stoffe aus Abb. 4 nach dem 1. Waschtest und nachdem sie getrocknet sind. Links befindet sich immer jeweils die Baumwolle und rechts die Wolle.



Abbildung 5: gefärbte Textilien nach der 1. Testfärbung und nach dem 1. Waschtest (eigene Darstellung)

Abbildung 6 zeigt die farblichen Ergebnisse nach der 2. Testfärbung. Bei diesem Durchgang wurden die Textilien mit drei unterschiedlichen Beizen vorbehandelt: Alaun + Weinsäure (Beize A), Alaun + Natriumcarbonat (Beize B) und eine Kombination aus Alaun + Natriumcarbonat und Tanninsäure (Beize C). Anschließend wurden die vorgebeizten Textilien mit Zwiebelschalen (ZS) und Walnusschalen (WNS), jeweils Baumwolle (CO), Nylon (PA 6.6) und Wolle (WO), gefärbt.

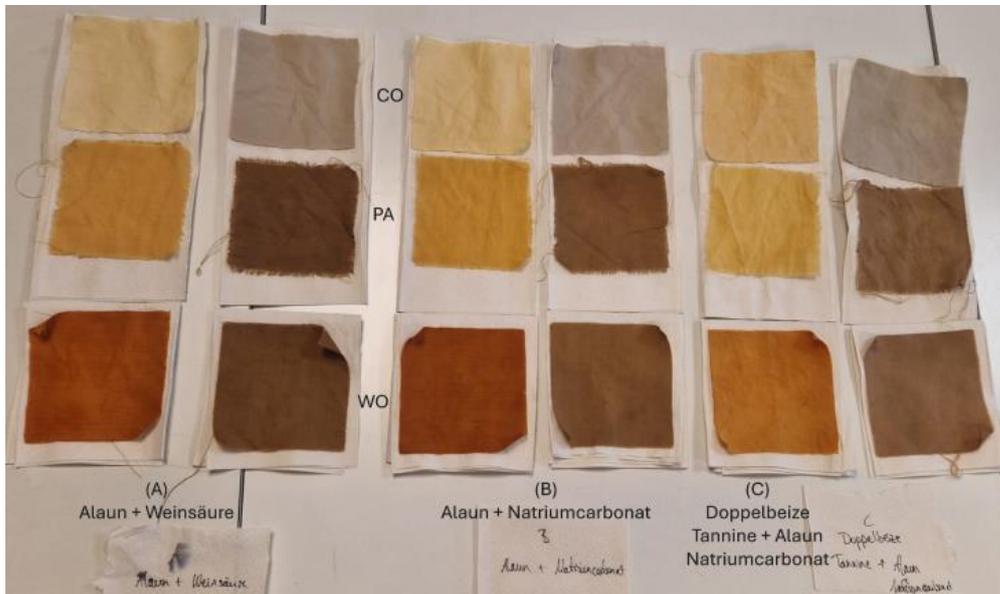


Abbildung 6: farblichen Ergebnisse nach der 2. Testfärbung (eigene Darstellung)

3.2 Forschung – Ergebnisse des UV/Vis-Geräts

Die folgenden Tabellen veranschaulichen die farblichen Ergebnisse der Testfärbungen, die im Rahmen der begleitenden Forschungsarbeit durchgeführt wurden. Die Ergebnisse werden als Echtheitsnoten dargestellt, die das UV/Vis-Gerät generiert hat. Die Noten beziehen sich auf eine Referenz- oder Vergleichsprobe dessen Farbton mit dem Farbton einer anderen Probe, die aber aus derselben Faser besteht und mit dem gleichen Nebenprodukt gefärbt wurde, verglichen wird. Die Abweichung von dem ursprünglichen Farbton wird als Note dargestellt. Die beste Note ist die 5, was beuten würde, dass es keine Abweichung gibt, und eine 1 oder kleiner deutet auf eine starke farbliche Abweichung hin. Je größer die Abweichung, desto schlechter ist das Ergebnis zu bewerten. Die Bewertungen wurden nach DIN EN ISO 105-A05 durchgeführt.

3.2.1 Erste Testfärbung

Die Noten in Tabelle 8 beziehen sich auf eine Referenzprobe der jeweils gefärbten, aber nicht gewaschenen, Textilie, dessen Farbton vom Gerät registriert wurde. Verglichen wurden die Farbtöne mit den gefärbten und mit Waschmittellösung gewaschenen Textilien.

Tabelle 8: Echtheitsnoten zu den gefärbten und mit Waschmittellösung gewaschenen Textilien nach der 1. Testfärbung (modifiziert nach: Whittle, 2025)

Farbstoff	Faser	Note Waschmittellösung
Orangenschale	Baumwolle	0,8
	Wolle	2,5
Zwiebelschale	Baumwolle	2,6
	Wolle	2,4
Karottengrün	Baumwolle	2,1
	Wolle	2,2
Karottentrester	Baumwolle	1,9
	Wolle	4,1
Avocadoschale + -kern	Baumwolle	2,4
	Wolle	3,8
Walnusschale	Baumwolle	2,1
	Wolle	3,3

3.2.2 Zweite vertiefte Testfärbung

Die zweite Testfärbung zeichnet sich dadurch aus, dass eine Eingrenzung der verwendeten NP stattgefunden hat. Außer Zwiebel- und Walnusschalen wurden die vorher verwendeten NP ausgeschlossen, da sie eine zu blasse Färbung aufzeigten, um mit ihnen fortzufahren. Als eine Erweiterung zur ersten Testfärbung wurde die zweite Testfärbung noch mit Nylon (Polyamid 6.6 (PA 6.6)) und drei neuen Beizen ergänzt. Bei den drei neuen Beizen handelt es sich um Alaun (20 %) + Weinsäure (7 %) (Beize A), Alaun (20 %) + Natriumcarbonat (6 %) (Beize B) und die Doppelbeize Tanninsäure (12 %) mit anschließend Alaun (20 %) + Natriumcarbonat (6 %) (Beize C). Das Ziel war es herauszufinden, ob es einen farblichen Unterschied gibt und einen Einfluss auf die Waschechtheit hat, wenn die Textilien mit unterschiedlichen Beizen vorbehandelt werden und ob die NP in der Lage sind auch synthetische Stoffe – in diesem Fall Nylon – zu färben.

Die Ergebnisse, die dabei rauskamen, zeigen, dass der Unterschied zwischen den Beizen nicht groß ist. Nach dem Färben und dem Waschen mit der Waschmittellösung wurden die Stoffe vom UV/Vis-Gerät bewertet. Die Noten spiegeln die optische Beobachtung wider. Es gibt farbliche Unterschiede zwischen den Textilien, die mit demselben NP gefärbt wurden. Die Schwankungen bei der WNS ist zwischen den unterschiedlichen Fasern gering, wobei Nylon die höchsten Noten erhält.

Beim Ansetzen des Farbsuds für die Zwiebelschale waren jedoch starke farbliche Unterschiede zu beobachten. Es wurden 3 identische Sude aufbereitet. Dabei wies der Farbsud, der für die Textilien bestimmt war, die mit Beize A vorgebeizt wurden, eine viel blässere Farbe auf und wirkte viel klarer als die anderen beiden Farbsude. Dementsprechend gab es farbliche Schwankungen bei

den Textilien, die mit der Zwiebelschale gefärbt wurden. Es ist nicht eindeutig ist, ob die blasse Farbe der Textilien, die mit Beize A vorbehandelt wurden, auf den Farbsud oder die Beize zurückzuführen ist. Um eine Verfälschung der Ergebnisse auszuschließen, musste die zweite Testfärbung wiederholt werden.

3.2.3 Wiederholung der zweiten Testfärbung mit Zwiebelschalen

Bei der Wiederholung wurde statt drei identischer Sude, ein großer Sud hergestellt, der auf die drei Beizen (A, B & C) aufgeteilt wurde. Zusätzlich wurden die Textilien, die mit der ZS und zuvor schon mit der WNS gefärbt wurden, drei Mal gewaschen. Die Ergebnisse all dieser Vorgänge sind in Tabelle 9 dargestellt. Die intensivsten Färbungen sind in der Tabelle mit Pfeilen hervorgehoben.

Tabelle 9: Echtheitsnoten der Wiederholung der 2. Testfärbung & nach 3-maligem Waschen (modifiziert nach: Whittle, 2025)

färbendes NP	Beize	Faser	Note nach 1. Mal Waschen	Note nach 2. Mal Wa- schen		Note nach 3. Mal Waschen		
			Vergleich zur Refe- renz	Vergleich zur Refe- renz	Vergleich zur 1. Wasch- probe	Vergleich zur Refe- renz	Vergleich zur 1. Wasch- probe	Vergleich zur 2. Wasch- probe
Zwiebel- schale	A *	CO	2,7	2,1	3,3	1,6	2,2	3,3
		WO	3,8	3,1	4,1	2,6	3,4	4,3
		PA 6.6	2,9	3,5	3,8	3,2	4,4	4,4
	B **	CO	2,2	1,6	2,9	1,1	2,0	3,0
		WO	3,6	3,5	4,6	2,9	3,5	3,9
		PA 6.6	3,1	3,5	4,4	3,1	4,4	4,6
	C ***	CO	2,4	1,4	2,4	1,1	1,8	3,4
		WO	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9	4,5
		PA 6.6	2,9	2,8	4,6	3,1	4,0	4,0
Walnuss- schale	A	CO	2,3	1,9	3,7	1,7	3,1	4,4
		WO	2,7	2,4	4,4	2,3	4,1	4,6
		PA 6.6	3,0	3,3	4,2	3,2	4,8	4,9
	B	CO	2,1	1,8	4,1	1,4	2,9	3,7
		WO	2,7	2,4	4,4	2,2	3,9	4,4
		PA 6.6	3,0	3,8	4,2	3,6	4,3	4,8
	C	CO	2,4	2,1	4,4	2,4	4,7	4,4
		WO	3,3	2,6	4,1	2,4	3,7	4,1
		PA 6.6	4,0	3,9	4,6	4,1	4,3	4,5

* Alaun (20 %) + Weinsäure (7 %)

** Alaun (20 %) + Natriumcarbonat (6 %)

*** Tanninsäure (12 %) mit Alaun (20 %) + Natriumcarbonat (6 %)

Bei der Betrachtung der Noten und dem Vergleich mit der Referenz, ist zu sehen, dass die Textilien nach jedem Waschgang durch das Auswaschen Farbe verlieren. Besonders viel Farbe verlieren die Stoffe nach der ersten Wäsche. Der Farbverlust wird allerdings nach jeder darauffolgenden Wäsche immer geringer, was auch an den Noten zu erkennen ist, die im Verhältnis zu der vorherigen Wäsche immer höher und somit besser ausfallen.

Vor allem der Farbstoff der Zwiebelschalen neigt dazu mehr ausgewaschen zu werden als der Farbstoff der Walnussschalen.

Wie gut oder schlecht die Farbe haftet ist auch vom Stoff selber abhängig, denn Baumwolle hat durchschnittlich die geringsten Noten, während Wolle und Nylon höhere Noten haben. Die Unterschiede in der Benotung der beiden Stoffe fällt grundsätzlich gering aus, jedoch sind die Noten von Nylon etwas höher als die der Wolle. Die Farbe bleibt am Nylon am besten haften und wäscht sich weniger aus als bei den anderen Stoffen.

Was die Beizen angeht, so ist eine klare Aussage, welche besser ist, kaum möglich. Erst nach dem 3. Waschen war eine Tendenz zu erkennen. Sowohl Beize A wie auch Beize C schneiden ungefähr gleich gut ab. Da die Arbeit mit Beize A jedoch effizienter ist, weil Beize C als Doppelbeize im Umgang aufwändiger ist, wird diese Beize bevorzugt (Whittle, 2025).

Die Ergebnisse in Tabelle 9 werden durch die Abb. 7 & 8 veranschaulicht. Dargestellt werden die drei verwendeten Textilien (Wolle (WO), Baumwolle (CO) & Nylon (PA 6.6)), die mit einer der drei Beizen (A, B & C) vorgebeizt und jeweils mit Zwiebelschale oder Walnussschale gefärbt wurden. Oben wird die ungewaschene Referenz-Textilie abgebildet und da drunter derselbe Stoff und dessen Farbton nach 3-mal Waschen. Die Buchstaben da drüber geben die verwendete Beize an.

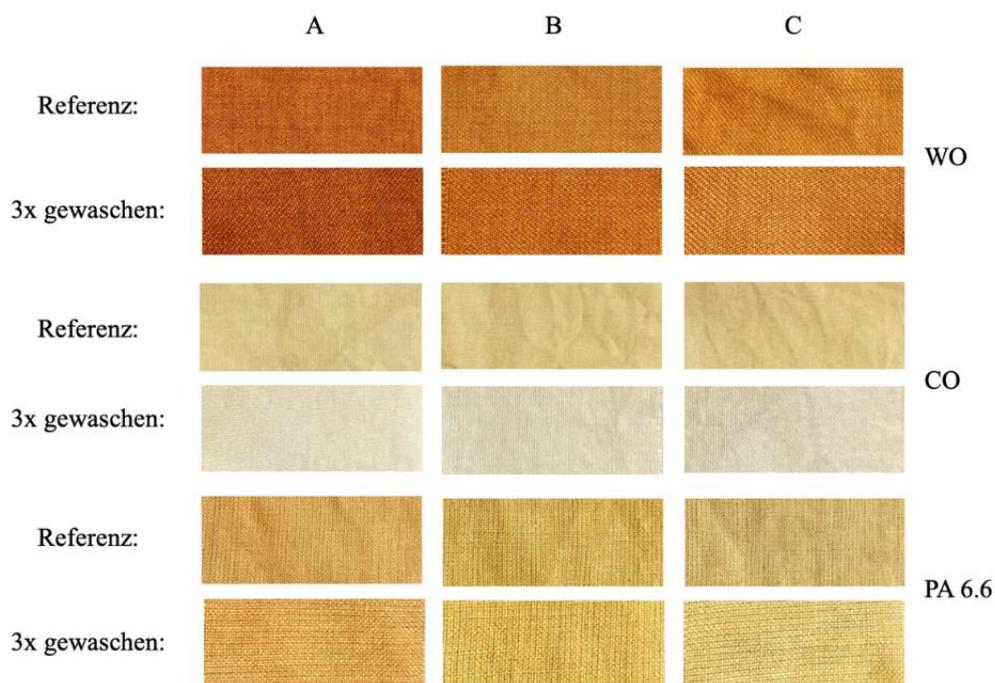


Abbildung 7: mit Zwiebelschalen gefärbte Textilien nach Wiederholung der 2. Testfärbung und 3-maligem Waschen im Vergleich zur Referenz (Whittle, 2025)

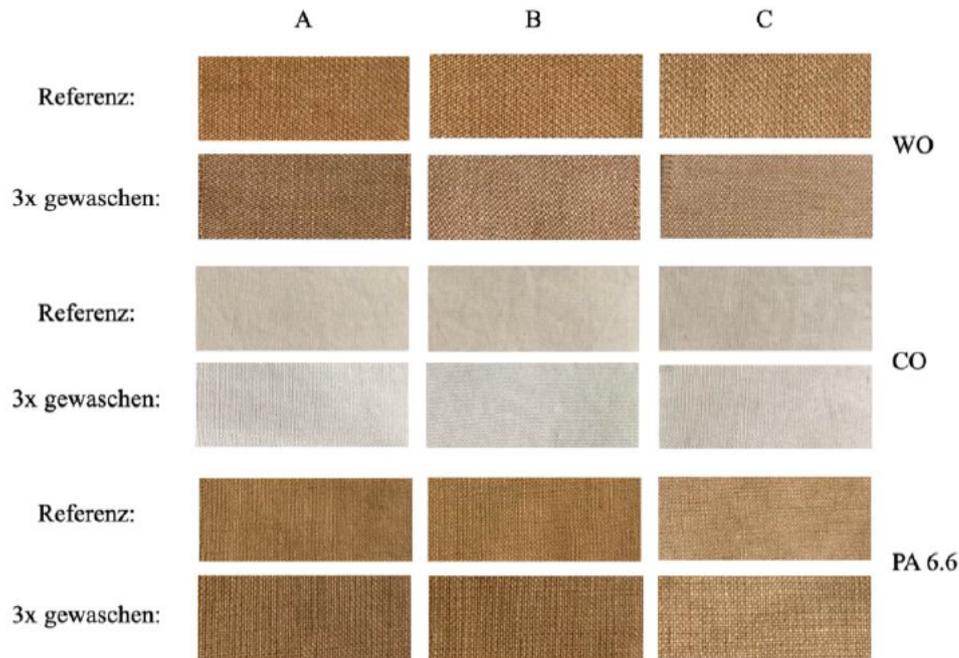


Abbildung 8: mit Walnussschalen gefärbte Textilien nach Wiederholung der 2. Testfärbung und 3-maligem Waschen im Vergleich zur Referenz (Whittle, 2025)

3.3 Alternative Anwendungsmöglichkeiten

In diesem Unterkapitel werden die Weiterverwertungsmethoden dargestellt, die zur Textilindustrie einen direkten oder indirekten Bezug haben, aber auch Verwertungsmöglichkeiten, die in anderen Sektoren ebenfalls einen Nutzen finden könnten. Vorgestellt werden Anwendungen, die sich schon etabliert haben - diese wurden in Kapitel 1 bereits genannt - und neue Anwendungen, die aber noch hauptsächlich Ideen sind, wie die NP theoretisch genutzt werden könnten.

3.3.1 Walnüsse

3.3.1.1 Anbau

Die Walnuss ist die weltweit meistverbreitete Nuss der Welt und wird hauptsächlich in Süd Europa, Nord Afrika, Ost Asien, in den USA und im Westen von Südamerika kultiviert. Die Nachfrage nach dieser Nuss ist stetig steigend und das gilt auch für den Anbau. So hat sich z.B. vom Jahr 1997 bis zum Jahr 2016 die weltweite Anbaufläche um mehr als die Hälfte verdoppelt von 512.367 ha auf 1.186.398 ha. Im Jahr 2016 wurden weltweit insgesamt ca. 5.533.428 t Walnüsse, inklusive Schale, angebaut. Die 5 Länder mit dem weltweit meisten Anbau sind China (1.785.879 t), USA (607.814 t), Iran (405.281 t), Türkei (195.000 t) und Mexico (141.818 t). Zusammen haben diese Länder im Jahr 2016 ca. 3.135.792 t Walnüsse produziert und allein davon waren 564.443 t grüne Walnussschalen und 2.100.981 t harte braune Walnussschalen (Khir, Pan, 2019, zitiert nach FAO, 2016, S. 398).

Obwohl die Walnüsse in Deutschland theoretisch gut wachsen könnten, sind sie Importware, die hauptsächlich aus den USA stammen, aber auch aus anderen EU-Ländern wie Frankreich. Der Anbau in Deutschland ist so gering, dass die Erntemengen nicht in Statistiken aufgenommen werden. Die verhältnismäßig kleine Anzahl an Walnussbäume, ist auf die beiden Weltkriege zurückzuführen, wo viele Bäume für die Holzherstellung gefällt wurden. Zusätzlich haben die extremen Winter in den Jahren 1941/42 und 1955/56 die Anzahl der Bäume, die für so kalte Temperaturen nicht bestimmt waren, minimiert. Daraufhin wurden nur wenige Bäume nachgepflanzt, weil sie sehr spät volle Erträge liefern, was finanziell ungünstig ist, wenn die Effizienzsteigerung bei den Landwirtinnen und Landwirten im Fokus steht. Walnussbäume beginnen erst nach 5-10 Jahren Früchte zu tragen und mit hohen Erträgen ist erst nach 15-20 Jahren zu rechnen (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2025).

3.3.1.2 Verwendung der Walnuskerne

Um die große Menge an anfallenden NP nachzuvollziehen, ist es notwendig sich über das eigentliche Lebensmittel und die Anwendungen Gedanken zu machen. Die Walnuss ist auf Grund ihrer großen Beliebtheit die meistgekauft Nuss in den Supermärkten. Sie kann pur als Snack gegessen oder als Zusatz in Müslis verwendet werden. Die Walnuss ist häufig ein Bestandteil weiterer LM, wie z.B. Riegel, Gebäck, Salate, Nudelgerichte oder Suppen. Weitere Applikationen in Bezug auf die Produktentwicklung mit Walnüssen sind möglich. Auch für die Ölpressung werden die Walnuskerne verwendet (Khir, Pan, 2019; Jahanban-Esfahlan et al., 2020).

3.3.1.3 Nebenprodukte

Um an den essbaren Kern der Walnuss zu kommen, muss das Lebensmittel erstmal geerntet, geschält, getrocknet und nochmal geschält werden. Die NP, die dabei entstehen sind Blätter der Pflanze, äußere grüne Walnussschale (WNS), die harte braune Nussschale und die Samenhülle (Haut). Die harte braune WNS kann bis zu 67 % des gesamten Gewichts der Nuss, inklusive aller Bestandteile, ausmachen (Khir, Pan, 2019, S. 398; Jahanban-Esfahlan et al., 2020).

3.3.1.4 Ernte und Lagerung

Die übliche Erntezeit der Walnüsse in Europa ist im Herbst zwischen September und Oktober. Je nach Klima können die Zeiträume voneinander etwas abweichen. Da Deutschland aber in Bezug auf die Walnüsse ein Importland ist, spielen die Erntezeiten eine untergeordnete Rolle. Unter den richtigen Bedingungen lassen sich Walnüsse bis zu 18 Monate lagern. Ihre NP sind also nicht auf einen bestimmten Zeitraum beschränkt. Es ist jedoch zu beachten, dass die Walnüsse in den meisten Fällen

ohne Schale transportiert werden, da das Produkt ohne Schale aus unterschiedlichen Gründen auf dem Markt viel beliebter ist als mit Schale. Bei den Reststoffen der Walnuss handelt es sich somit nicht um lokale Abfallprodukte (Khir, Pan, 2019; Suard et al., 2024).

3.3.1.5 Eigenschaften

Die unterschiedlichen Eigenschaften der jeweiligen Nebenprodukte sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Eigenschaften der Nebenprodukte von Walnüssen (eigene Darstellung)

NP	Eigenschaft
Blätter	<ul style="list-style-type: none"> • enthalten Extrakte mit antiseptischen, • antihelminthischen, • durchfallhemmenden, • antioxidativen und • adstringierenden Eigenschaften
grüne Walnussschale	<ul style="list-style-type: none"> • antioxidativ • reich an phenolischen Verbindungen • antimikrobiell • biologisch abbaubar
harte braune WNS	<ul style="list-style-type: none"> • abrasiv • chemisch inert • ungiftig • biologisch abbaubar & umweltfreundlich • gut haltbar • elastisch • nachwachsender Rohstoff • niedrige Kosten • geringe Dichte • festes Material • in großen Mengen verfügbar • adsorbiert effektiv • reduziert Haut- und respiratorische Reize bei der Verarbeitung

(Khir, Pan, 2019; Jahanban-Esfahlan et al., 2020)

3.3.1.6 Mögliche Weiterverwertungen

Von den NP, die während der Verarbeitung der Walnüsse anfallen, hat besonders die harte braune Schale großes Potential. Aus ihr kann granuliertes Aktivkohle hergestellt werden, die ein sehr effektives Absorptionsmittel darstellt, das dazu verwendet werden kann, um Trinkwasser aufzubereiten oder Gewässer von industriellen Abwässern und organischen und anorganischen Schadstoffen zu

bereinigen. Die Aktivkohle lässt sich auch bei Gasförmigen Elementen anwenden (El Mashad, Zhang & Pan, 2019).

Farbstoff gelangt nicht nur durch die Textilindustrie in die Umwelt, sondern auch unter anderem durch die Lebensmittel-, Papier-, Kunststoff-, Leder-, Pharma-, Kosmetik- und Farbindustrie. Abgesehen von der Farbe gelangen noch andere Stoffe in die Gewässer, wie z.B. Öle, Schwermetalle oder Alkohole. Der Lebensmittelsektor ist einer der größeren Sektoren der dafür verantwortlich ist, dass durch Küchen- und menschliche Abfälle Öl in kommunale Gewässer gelangt. Die aus den WNS gewonnene Aktivkohle eignet sich gut zur Ölentfernung (Singh, 2024, S. 3 ff.).

Die Aktivkohle lässt sich auch dazu verwenden, um Arzneimittel aus Abwässern herauszufiltern. Medikamente sind sehr widerstandsfähig und nicht biologisch abbaubar, was sie zu einem Umweltproblem macht. Dieses Gebiet ist aber in Bezug auf die Aktivkohle aus WNS noch nicht gut erforscht und erstmal nur auf eine kleine Gruppe von Medikamenten anwendbar. Manche Medikamente werden lediglich in einer akzeptablen Anzahl entfernt (Jahanban-Esfahlan et al., 2020).

Grundsätzlich scheint die Aktivkohle aber ein sehr wirksames und vielversprechendes Adsorptionsmittel zu sein, dass billig in der Beschaffung ist und gleich wirksam oder effektiver ist, als herkömmliche Aktivkohle (Jahanban-Esfahlan et al., 2020).

Weitere mögliche Anwendungsmöglichkeiten der unterschiedlichen NP in verschiedenen Sektoren sind in der Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Walnüsse potenziell möglich wären (eigene Darstellung)

NP	Sektor					
	Lebensmittel	Textil	Kosmetik	Medizin	Bau	Sonstiges
Blätter	✓	keine Information (k.I.)	✓	✓	k.I.	k.I.
Einsatz	Basis für Walnuss Likör	/	Shampoo & Seifen	z.B. bei Wunden, gegen Würmer, bei Durchfall, Hautentzündungen & Geschwüren	/	/
grüne WNS	✓	✓	k.I.	✓	k.I.	k.I.
Einsatz	Chemische Verbindungen z.B. Phenole in Nahrungsergänzungsmitteln (NEM)	färbt Textilien	/	ähnlich wie Blätter	/	/
harte WNS	✓ verarbeitete granuliert Aktivkohle als Bio-Sorptionsmittel	✓ verarbeitete granuliert Aktivkohle als Bio-Sorptionsmittel	✓	✓ verarbeitete granuliert Aktivkohle als Bio-Sorptionsmittel	✓	✓
Einsatz	Öle aus der LM-Industrie werden aus den Gewässern gefiltert	Schadstoffe der Textilindustrie werden aus den Gewässern gefiltert	Partikel für Peeling z.B. in Seife oder Gesichtspeeling, Aktivkohle	Medikamente werden aus den Gewässern gefiltert, Aktivkohle für medizinischen Anwendungen	Schleif- & Poliermaterial für weiche Materialien, Füllmaterial, Verbundwerkstoff, zur Herstellung von Spannplatten & Möbel	industrielle Reinigung (hinterlässt keine Kratzer & Löcher), biologisch abbaubare Verpackungsfolie
Walnuss-haut	k.I.					

(Khir, Pan, 2019; Eliopoulos et al., 2022)

3.3.2 Zwiebeln

3.3.2.1 Anbau

Die Zwiebel gehört zu den am häufigsten angebauten Nutzpflanzen und steht nach der Tomate an zweiter Stelle in der weltweiten Produktion. Angebaut wird sie in gemäßigten, subtropischen und tropischen Gebieten. Auf Grund ihrer hohen Nachfrage steigt die Produktion der Zwiebel jährlich. In Deutschland zählt die Speisewiebel zu den beliebtesten Gemüsesorten und allein im Jahr 2023 wurden um die 666.300 t angebaut (El Mashad, Zhang & Pan, 2019; Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2024). In den letzten Jahren ist die Zwiebelproduktion weltweit um mehr als 25 % gestiegen (Sagar et al., 2022).

3.3.2.2 Verwendung der Zwiebeln

Die beliebteste und meiste verwendete Zwiebel ist die gelbe Zwiebel. Zwiebeln werden in sehr vielen Gerichten verwendet, um ihnen mehr Geschmack zu verleihen. Sie werden als typisches Gewürz in Form von Flocken oder Pulver oder als Zusatz in Fertiggerichten verwendet. Erhältlich sind sie auch eingelegt in Gläsern oder als Bestandteil anderer LM wie z.B. eingelegter Gurken. Zur Ölherstellung werden sie ebenfalls benutzt. Zwiebeln werden auch in der kräuterbasierten Medizin eingesetzt (El Mashad, Zhang & Pan, 2019; Sagar et al., 2022).

3.3.2.3 Nebenprodukte

Wenn Zwiebeln maschinell geschält werden, dann sind die NP, die dabei entstehen, der obere und untere Teil der Zwiebel, die abgetrennt werden, und die Schalen. Die braune trockene Schale wird entfernt und dazu die äußersten fleischigen Zwiebelschuppen, die sich unter der braunen trockenen Schale befinden. Bei der Verarbeitung fallen insgesamt ca. 38 % des Frischgewichts an NP an, die zum Verzehr nicht geeignet sind, und werden als Abfall entsorgt. Dabei kann die trockene äußere Schale 3 – 5 % des Gesamtgewichts einer Zwiebel ausmachen (El Mashad, Zhang & Pan, 2019, S. 278 f.). Schätzungen zufolge fallen allein in den europäischen Ländern eine jährliche Gesamtmenge von mehr als 6.000.000 t an Zwiebelabfällen aus der Produktion an. Unter diese Menge fallen auch die bereits erwähnten NP (Katsampa et al., 2015, S. 535).

3.3.2.4 Ernte und Lagerung

Zwiebeln und die damit verbundenen Nebenströme sind in Deutschland das ganze Jahr über verfügbar. Wann die Zwiebeln geerntet werden, hängt von der Sorte ab, ob es Winter- oder Sommerzwiebeln sind. Die Erntezeit in Deutschland kann somit je nach Sorte im Juni liegen oder in August und

September. In Zeiten, wo Zwiebeln in geringeren Mengen verfügbar sind, werden sie aus Lagern bezogen. Unter kühlen, kontrollierten und idealen Bedingungen können Zwiebeln bis zu 9 Monaten gelagert werden (El Mashad, Zhang & Pan, 2019; Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2024).

3.3.2.5 Eigenschaften

Durch Studien konnte bestätigt werden, dass die Nebenströme aus der Zwiebelverarbeitung bioaktive Wirkstoffe haben. Vor allem Zwiebelschalen sind eine reichhaltige Quelle für biochemische Verbindungen, wie den sekundären Pflanzenstoffen, zu denen z.B. die Gesamtpolyphenole, Gesamtflavonoide, oder das Quercetin und seine Derivate zählen. Diese Verbindungen üben unterschiedliche positiven Effekt auf den menschlichen Körper aus. Vor allem das Quercetin ist von besonderem Interesse, da viele der positiven Wirkungen darauf zurückzuführen sind. Es hat nicht nur gesundheitliche Vorteile, wie z.B. entzündungshemmende und antioxidative Wirkung, sondern ist auch ein gelber Naturfarbstoff, der in der Forschung bezüglich der Textilfärbung im Rahmen dieser Zwillingsbachelorarbeit verwendet wurde. Das Quercetin ist ein Polyphenol, das zu einer Untergruppe der Flavonole - den Flavonoiden - zählt (Kumar et al, 2022; chemie.de, o. J.).

Die NP der Zwiebel und die dazugehörigen Eigenschaften sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Eigenschaften der Nebenprodukte von Zwiebeln (eigene Darstellung)

NP	Eigenschaft
<p>trockene Außenschale</p>	<ul style="list-style-type: none"> • reich an löslichen & unlöslichen Ballaststoffen • reich an phenolische Verbindungen z.B. Gesamtphenolen, Flavonoiden & Quercetin • antioxidativ • reich an Mineralstoffe (vor allem viel Calcium) • antibakterielle Wirkung gegen <i>Helicobacter pylori</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> & <i>H. pylori</i> • gutes Bio-Sorptionsmittel für Blei-Ionen, Chinolon-Antibiotika, Phenol, Kupfer-Ionen & Methylen-Blau <p>➔ Quelle: (El Mashad, Zhang & Pan, 2019)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • kohlenhydratreich • mehr phenolische Verbindungen als im Fruchtfleisch • krebshemmend • verringert den Anstieg des Blutzuckerspiegels signifikant • Anti-Adipositas-Effekt • kardioprotektiv (Zwiebelschalenextrakt) • neuroprotektive thrombozytenaggregationshemmende Wirkung • antidiabetische Wirkung • anwendbar zur Behandlung von erektiler Dysfunktion <p>➔ Quelle: (Kumar et al., 2022)</p>
<p>äußere fleischige Schuppenblätter</p>	<ul style="list-style-type: none"> • enthalten Mineralstoffe und phenolische Verbindungen • enthalten Bioflavonoide ➔ hemmen Thrombozytenaggregation bei Menschen, hemmen mikrobiellen Wachstum, Krebsprävention, schützt Leber • enthalten Quercetin • ballaststoffreich <p>➔ Quelle: (El Mashad, Zhang & Pan 2019)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Anteil an ungesättigten Fettsäuren (ca. 77 %) • mehr Phenolische Verbindungen als im Fruchtfleisch <p>➔ Quelle: (Kumar et al., 2022)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Gehalt an Magnesium, Eisen, Zink und Mangan <p>➔ Quelle: (Salem et al., 2023, S. 1841)</p>
<p>Kopf-Teil und Wurzeln</p>	<ul style="list-style-type: none"> • reich an unlöslichen Ballaststoffen & Phenolische Verbindungen wie den Gesamtphenolen & Flavonoiden • hohe antioxidative Aktivität • enthalten Mineralstoffe, vor allem viel Magnesium, Eisen, Zink und Mangan • ballaststoffreich <p>➔ Quelle: (El Mashad, Zhang & Pan, 2019)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • mehr phenolische Verbindungen als im Fruchtfleisch <p>➔ Quelle: (Kumar et al., 2022)</p>

3.3.2.6 Mögliche Weiterverwertungen

In welchen Bereichen die zahlreichen Eigenschaften der Zweibelnebenprodukte nützlich sein könnten ist in der Tabelle 13 dargestellt. Aufgelistet werden die fertigen Produkte, die aus den jeweiligen Wertstoffen herstellt oder gewonnen werden könnten. Häufig finden diese Produkte in unterschiedlichen Sektoren eine Verwendung, wie z.B. die Essigsäure, die für viele Bereiche benötigt wird.

Auch eignen sich alle NP, bzw. deren Wirkstoffe, für den Einsatz in der Medizin. In Arzneimitteln könnten sie für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden, die z.B. Krebs, Fettleibigkeit, Diabetes, neurodegenerativen Erkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, mikrobiellen Schäden oder erektiler Dysfunktion vorbeugen oder lindern sollen (Sagar et al., 2022).

Tabelle 13: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Zwiebeln potenziell möglich wären (eigene Darstellung)

NP	Sektor					
	Lebensmittel	Textil	Kosmetik	Medizin	Energie	Sonstiges
trockene Außenschale	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	NEM, Herstellung von Essigsäure, LM-Farbe, Pektin-Gewinnung, Tannin-Gewinnung, Gerbsäure	färbt Textilien, Essigsäure, Tannin-Gewinnung, Gerbsäure	Essigsäure	pflanzliche Arzneimittel, Essigsäure, Tannin-Gewinnung, Gerbsäure	Biokraftstoff, Biokohlenstoff, Bioelektrizität, Bio-Ethanol	Bio-Sorptionsmittel, Essigsäure zur Reinigung, Gerbsäure in der Holzverarbeitung & Chemie
äußere fleischige Schuppenblätter	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	NEM, LM-Farbstoffe, Essigsäure, Zuckergewinnung	Essigsäure	Essigsäure	pflanzliche Arzneimittel, Essigsäure	Biokraftstoff, Bio-Ethanol	Essigsäure zur Reinigung
Kopf-Teil und Wurzeln	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	NEM, Essigsäure, Zuckergewinnung	Essigsäure	Essigsäure	pflanzliche Arzneimittel, Essigsäure	Biokraftstoff, Bio-Ethanol	Essigsäure zur Reinigung

(Sagar et al., 2022)

3.3.3 Orangen

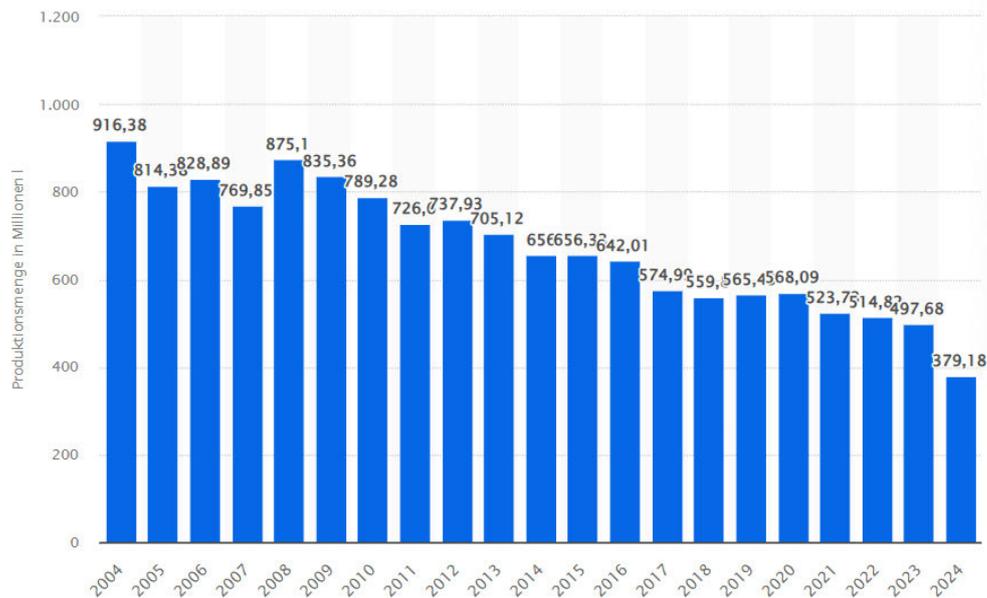
3.3.3.1 Anbau

Als Zitrusfrucht gehört die Orange zu einer der weltweit am häufigsten angebauten Früchte der Welt. Die weltweite Produktion von Zitrusfrüchten hat sich in den letzten 30 Jahren verdoppelt und ungefähr die Hälfte dieser Produktionsmenge sind Orangen. Im Jahr 2021 wurden weltweit ca. 75,5 Mio. t Orangen geerntet (Coman et al., 2020; Cirrincione et al., 2024, S. 1).

Ihren Ursprung hat die Frucht in Asien, wird heute aber überall auf der Welt in tropischen und subtropischen Regionen angebaut. Die Länder mit der größten Orangenproduktion sind Brasilien (21,46 %), Indien (13,59 %), China (9,99 %), Mexico (6,08 %) und USA (5,31 %). In Europa sind die Hauptproduzenten Italien, Spanien und Griechenland. Allein in Italien fallen jährlich ca. 1 Mio. t Zitrusfruchtschalen an, die entsorgt werden müssen. In Deutschland werden die meisten Orangen hauptsächlich aus Spanien importiert (Cirrincione et al., 2024; Leroma GmbH, 2021; ESSEN WISSEN Stiftung Eildermann, o. J.).

3.3.3.2 Verwendung der Orangen

Orangen werden hauptsächlich dafür benötigt, um aus ihnen Saft herzustellen. Ungefähr 70 % der geernteten Orangen werden dafür verwendet und nur ca. 50 % der Orange selber wird bei der Saftpressung verwertet. Weitere Lebensmittel, die aus Orangen gemacht werden, sind getrocknete Früchte, Marmeladen oder Aromastoffe für Getränke (Cirrincione et al., 2024, S. 1). In Abb. 9 sind die Produktionsmengen von Orangensaft in Deutschland von 2004 bis 2024 in Millionen Liter dargestellt. Auch wenn die Tendenz fallend ist, sind die Mengen dennoch riesig, die in Deutschland hergestellt werden.



Details: Deutschland; ohne Tiefkühlsaft; ohne Orangensaft a.n.g.

© Statista 2025

Abbildung 9: Produktionsmenge von Orangensaft in Deutschland in den Jahren 2004 bis 2024 in Millionen Liter (Gerhus, 2025)

3.3.3.3 Nebenprodukte

Vor allem in der Orangensaftproduktion fallen viele NP an, die ca. 50–70 % des ursprünglichen Fruchtgewichts ausmachen können. Bei den anfallenden NP handelt es sich in den meisten Fällen um Schalen (60–65 %), verbleibendes Fruchtfleisch mit Geweberesten (30–35 %) und je nach Sorte Samen (0–10 %). Allein die Schale kann 45–60 % des Fruchtgewichts ausmachen. Es wird geschätzt, dass jedes Jahr weltweit ca. 0,8 bis 1 Mio. t an Orangen-Nebenprodukten nur in der Saftproduktion anfallen. Da Orangen von allen Zitrusfrüchten am häufigsten konsumiert werden, wird geschätzt, dass es sich bei ungefähr 80 % der weltweit anfallenden Zitrusrückstände um Orangenschalen handelt (Coman et al., 2020, S. 169; Cirrincione et al., 2024, S. 1 f.; M. Sánchez et al., 2021, S. 3).

Da die NP viel Wasser enthalten, Zucker und Öle und schnell verderben, werden sie vor der Lagerung oft erst gewaschen, getrocknet und dann zermahlen, wenn es für den nachfolgenden Verwendungszweck sinnvoll ist. Um die Bitterstoffe aus den NP zu entfernen, werden die Reststoffe entweder in Natronlauge oder heißem Wasser eingeweicht. Dadurch gehen zwar wichtige bioaktive Verbindungen, wie z.B. das Quercetin, verloren, aber dafür macht es die NP für andere Anwendungen geeignet, wie z.B. die Verfütterung an Tiere. Methoden, um die meisten bioaktiven Verbindungen zu erhalten und zu entbittern, wäre das Einweichen in Salzlösung oder die NP mit Zucker zu überziehen (Cirrincione et al., 2024, S. 4).

Persönliche Rechnung zur anfallenden Orangenschalenmenge aus der Orangensaftproduktion in Deutschland im Jahr 2024:

Es sind folgende Informationen vorhanden: Im Jahr 2024 wurden in Deutschland ca. 379,2 Mio. L Saft Produziert (siehe Abb. 9) (Gerhus, 2025). Für das Pressen von einem Liter Saft werden ungefähr 2 kg Orangen benötigt (LECKER.de, o. J.). Eine Orange wiegt mit Schale durchschnittlich ca. 225,5 g (0,2255 kg) (Prüße, Hüther & Hohgardt, o. J., S. 45). Das Durchschnittsgewicht der Schale einer Orange beträgt 57 g (0,054 kg) (Prüße, Hüther & Hohgardt, o. J., S. 45).

Berechnung der benötigte Menge Orangen für 379,2 Mio. L Saft: $379,2 \text{ Mio.} \times 2 \text{ kg} = 758,5 \text{ Mio. kg}$ (758.500 t)

Berechnung der Orangenanzahl: $758,5 \text{ Mio. kg} \div 0,2255 \text{ kg} = 3.363.636.364$ Orangen ($\approx 3,4$ Mrd. Stück)

Berechnung der anfallenden Orangenschalen: $3.363.636.364 \times 0,054 \text{ kg} = 181.636.363,7 \text{ kg}$ (≈ 181.636 t)

Ergebnis: Laut der persönlichen Rechnung der Autoren sind in Deutschland im Jahr 2024 allein in der industriellen Orangensaftproduktion ca. 181.636 t an Orangenschalen als Abfallprodukt angefallen. Das an der Schale anhaftende Fruchtfleisch und die Kerne wurden bei der Rechnung nicht berücksichtigt.

3.3.3.4 Ernte und Lagerung

Die Orangenernte in den Mittelmeerländern geht von November bis April. Dabei müssen die Früchte nicht sofort geerntet werden, sondern können noch einige Monaten auch im reifen Zustand an den Bäumen hängen bleiben. Da Deutschland Orangen ausschließlich aus anderen Ländern importiert, sind sie das ganze Jahr lang verfügbar. Neben Spanien werden Orangen auch aus Griechenland, Italien und der Türkei bezogen. Wenn die Erntesaison in den Mittelmeerländern vorbei ist, dann beliefern Südafrika, Argentinien, Uruguay und Brasilien im Sommer bis Herbst den deutschen Markt (Coman et al., 2020; ESSEN WISSEN Stiftung Eildermann, o. J.).

3.3.3.5 Eigenschaften

Die unterschiedlichen Eigenschaften der Nebenprodukte der Orange sind in der Tabelle 14 aufgelistet.

Tabelle 14: Eigenschaften der Nebenprodukte von Orangen (eigene Darstellung)

NP	Eigenschaft
Schale	<ul style="list-style-type: none"> • ballaststoffreich (ca. 70 % des Trockengewichts) • reich an Polyphenolen, Phenolsäure & phenolische Verbindungen (mehr als im essbaren Teil) • enthält ätherische Öle (Verbindungen haben antimikrobielle & antimykotische Eigenschaften durch enthaltene Terpene) • vitaminreich z.B. C, A, B6, E & Carotinoide • enthalten Flavonoide (antiallergische und entzündungshemmende Eigenschaften, gegen Lebererkrankungen und verschiedene Krebsarten) <p>➔ Quelle: (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthält Pektin • reich an Zuckern (löslich & unlöslich) • viele Mineralstoffe (z.B. Kalium, Kalzium & Magnesium) • enthalten Ölsäure, Linolensäure, Palmitinsäure und Stearinsäure <p>➔ Quelle: (Cirrincione et al., 2024)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • antimikrobielle, antioxidative und entzündungshemmende Eigenschaften • wirksam gegen E. coli, Staphylococcus aureus und Pseudomonas fluorescens <p>➔ Quelle: (M. Sánchez et al., 2021)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • reich an organischen Säuren • enthalten Aminosäuren • reich an Ölen und Lipiden ➔ ätherischen Öle bestehen hauptsächlich aus Verbindungen wie d-Limonen (32–98 % der gesamten Öle), aber auch α-Terpinolen, α-Pinen, Citronellol, β-Citronellol usw. <p>➔ Quelle: (Chavan, Singh & Kaur, 2018)</p>
Trester	<ul style="list-style-type: none"> • enthalten Flavonoide • antioxidativ (mehr als Schale) <p>➔ Quelle (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • reichhaltige Quelle für Mineralstoffe (z.B. Kalium, Kalzium & Magnesium), • enthält Glycerin und Phytosterole • enthält mehr Polyphenole & Phenolensäure als im essbaren Teil • ballaststoffreich <p>➔ Quelle: (Cirrincione et al., 2024)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • kohlenhydratreich (20-30 %) <p>➔ Quelle: (M. Sánchez et al., 2021)</p>
Samen/ Kerne	<ul style="list-style-type: none"> • enthalten Flavonoide <p>➔ Quelle: (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • bestehen aus stickstofffreiem Extrakt, Lipiden, Rohproteinen und Ballaststoffen • reichhaltige Quelle für Mineralstoffe (z.B. Kalium, Kalzium & Magnesium) • mehr Polyphenole & Phenolensäure als im essbaren Teil • enthalten Proteine (4-6 %) • enthalten Limonoide (krebs- & entzündungshemmend) <p>➔ Quelle: (Cirrincione et al., 2024)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthalten lösliche Zucker • enthalten Aminosäuren • reich an organischen Säuren sowie Ölen und Lipiden <p>➔ Quelle: (Chavan, Singh & Kaur, 2018)</p>

3.3.3.6 Mögliche Weiterverwertungen

In welchen Bereichen einzelne Inhaltsstoffe eingesetzt werden oder welche Endprodukte für welche Sektoren aus den einzelnen NP hergestellt werden können ist in Tabelle 15 dargestellt. Vielen Endprodukte entstehen jedoch nicht direkt aus den NP, sondern beinhalten diese. Die NP sind für den Herstellungsprozess einiger Endprodukte wichtig. So können z.B. alle drei Reststoffkategorien zur Herstellung von einem Vorläufer für Biokraftstoff verwendet werden, aber nicht für die direkte Herstellung. Auch einige Chemikalien können durch Fermentation hergestellt, aber nicht direkt aus den NP extrahiert werden. Manchmal sind die NP als eigentliches Produkt irrelevant. Von größerer Bedeutung sind ihre Inhaltsstoffe. So ist es z.B. möglich aus der Orangenschale und dem Trester Zitrusfasern zu gewinnen, die bioaktive Eigenschaften haben und das Wachstum von gewünschten Mikroorganismen in Lebensmitteln fördern können. In manchen Fällen wird aber das NP direkt dazu verwendet, um das Endprodukt zu erzeugen, wie z.B. die Aktivkohle, die direkt aus Orangenschalen hergestellt werden kann (Chavan, Singh & Kaur, 2018; Coman et al., 2020).

Tabelle 15: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Orangen potenziell möglich wären (eigene Darstellung)

NP	Sektor					
	Lebensmittel	Textil	Kosmetik	Medizin	Energie	Sonstiges
Schale	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	LM-Zusatz, Pektin, Aroma in Getränken, LM-Farbstoffe, Öl	Biosorptionsmittel zur Entfernung von Zink- und Cadmiumionen & weiteren Schwermetallen, Textilien- bzw. Garnherstellung aus Fasern der OS	etherische Öle, Lotionen, Seifen, Parfüms, Toilettenartikel etc., Aktivkohle, Pektin	Tumorenbekämpfung, Antibiotika, Pektin, Aktivkohle	Biogas durch anaerobe Vergärung, für Biokraftstoff, Bioethanol, Biowasserstoff	essbare Verpackungsfolie, papierbasiertes Verpackungsmaterial z.B. Eierkarton, in Reinigungsmittel, Druckermaterial für 3D-Drucker, Kunststoffherstellung, Erdöllösungsmittel
Trester	✓	k.I.	✓	✓	✓	✓
Einsatz	LM-Zusatz, Anreicherung von Viehfutter, Glycerin, Phytosterole	/	Aktivkohle, Glycerin, Phytosterole	Aktivkohle, Glycerin, Phytosterole	Biogas, für Biokraftstoff, Kohle	biologisch abbaubare Verpackungen
Samen/ Kerne	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	LM-Zusatz, zellulolytische Fasern für Fermentation, Öl, Protein-NEM für Tiere, Mehl	Bio-Sorption von Cadmium, Zink und Blei	etherische Öle	Tumorenbekämpfung	Biogas, für Biokraftstoff, Bioethanol, Biowasserstoff, Biodiesel	in Reinigungsmittel, Öl für Verpackungsfolienherstellung, Erdöllösungsmittel

(Cirincione et al., 2024; Coman et al., 2020; Jahanban-Esfahlan et al., 2020; Eliopoulos et al., 2022; M. Sánchez et al., 2021; Chavan, Singh & Kaur, 2018; Leroma GmbH 2021)

3.3.4 Avocados

3.3.4.1 Anbau

Die Avocadopflanze ist ein in Mittelamerika beheimateter immergrüner Baum, der in tropischen und subtropischen Gebieten wächst (Benvenuti et al., 2025). Auf Grund ihrer hohen Beliebtheit ist die Avocadoproduktion in den letzten 20 Jahren immer mehr gestiegen und erreichte 2023 eine weltweite Produktion von knapp 10,5 Mio. t (Coman et al., 2020; Ahrens, 2025a). Die größte Menge produziert Mexico mit knapp 30 % der weltweiten Anbaumenge (2,97 Mio. t), gefolgt von Kolumbien (1,09 Mio. t), der Dominikanischen Republik (1,02 Mio. t), Peru (0,98 Mio. t) und Indonesien (0,87 Mio. t) im Jahr 2023 (Ahrens, 2025b).

3.3.4.2 Verwendung der Avocados

Die Avocado wird in der industriellen Verarbeitung hauptsächlich für die Ölherstellung, sowohl im Lebensmittel- wie auch im kosmetischen Bereich, verwendet. Des Weiteren wird die Avocado für die Herstellung von Guacamole, Pürees für Brotaufstriche, Soßen und Säfte benötigt. Auch wird die Avocado, in Stücke geschnitten und im frischen oder gefrorenen Zustand verkauft (Coman et al., 2020; Rodríguez-Martínez et al., 2022; Tesfaye et al., 2022).

3.3.4.3 Nebenprodukte

Für die Herstellung der oben genannten Produkte wird ausschließlich das Fruchtfleisch der Avocado verwendet. Die NP, die in großen Mengen übrigbleiben, sind hauptsächlich die Schale und der Kern. Zusammen können sie bis zu 33 % des Fruchtgewichts ausmachen (Coman et al., 2020, S. 163). Von der Ölpressung, kann aber auch das Fruchtfleisch als Presskuchen übrigbleiben. Der Presskuchen macht ungefähr 25 % der Fruchtfleischmasse aus (Benvenuti et al., 2025). Es wird davon ausgegangen, dass 2019 eine weltweite Menge an Rückständen aus der Industrie von rund 2 Mio. t anfiel (Rodríguez-Martínez et al., 2022). In Bezug auf die Kerne wird geschätzt, dass jährlich weltweit eine Menge von 520.000 bis 720.000 t als Abfall entsorgt wird (Teskaye et al., 2022, S. 2).

Die NP der Avocado zeichnen sich durch einen hohen Feuchtigkeitsgehalt und hohe Wasseraktivität aus. Um das Risiko von Verderb und Kontamination zu senken, müssen die NP getrocknet werden. Diese Methode der Haltbarmachung ermöglicht eine Lagerung der Wertstoffe (Colombo, Papetti, 2019; Coman et al., 2020).

3.3.4.4 Ernte und Lagerung

Deutschland gehört zu einer der wichtigsten Abnahmeländer für Avocados, da die Früchte ausschließlich ins Land importiert werden müssen. Im Jahr 2023 wurden um die 156.000 t Avocados geliefert und auf Grund der zunehmenden Beliebtheit ist die Tendenz steigend (Ahrens, 2025b).

Da die Avocados aus anderen Ländern stammen, sind sie in Deutschland das ganze Jahr über verfügbar. Die Erntezeiten variieren je nach Land und Kontinent und finden zu unterschiedlichen Jahreszeiten und Monaten statt. Deutschland bezieht seine Avocados hauptsächlich aus Peru, aber auch aus Spanien. So sind z.B. von Oktober bis Mai Avocados aus Spanien verfügbar und von Mai bis September aus Peru (FOODBOOM GmbH, 2015).

3.3.4.5 Eigenschaften

Die unterschiedlichen Eigenschaften von der Avocadoschale, dem Kern und dem Presskuchen sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Es ist jedoch anzumerken, dass viele Literaturen, in denen es um die NP der Avocado geht, ihren Fokus auf die Schale und den Kern legen. Vor allem auf den Kern. Es gibt nur wenige Quellen, die auch den Presskuchen erwähnen.

Tabelle 16: Eigenschaften der Nebenprodukte von Avocados (eigene Darstellung)

NP	Eigenschaft
Schale	<ul style="list-style-type: none"> • reich an Polyphenolen (3x mehr als im Fruchtfleisch & Kern) & Phenolsäuren (z.B. Hydroxybenzoesäure, Hydroxyzimtsäurederivate) → hohe antioxidative Aktivität, • reich an Ballaststoffen • antibakterielle Wirkung gegen <i>Listeria innocua</i>, <i>E. coli</i>, <i>Lactobacillus sakai</i>, <i>Weissella viridescens</i> & <i>Leuconostoc mesenteroides</i> <p>→ Quelle: (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • kohlenhydratreich (mehr als Fruchtfleisch) • lipidhaltig • zellulosehaltig (LM, Textil, Pharma, Verpackung) • reich an Polysacchariden & Pektin-Oligosaccharide (wirken präbiotisch) <p>→ Quelle: (Rodríguez-Martínez et al., 2022)</p>
Kern	<ul style="list-style-type: none"> • reich an Polyphenolen (z.B. Flavonoiden) & Phenolsäuren • enthalten Tannine • ballaststoffreich • antibakterielle Wirkungen gegen <i>Listeria monocytogenes</i>, <i>Staphylococcus epidermidis</i> und <i>Mycobacterium avium</i> <p>→ Quelle: (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • kohlenhydratreich (mehr als Fruchtfleisch) • lipidhaltig • zellulosehaltig (LM, Textil, Pharma, Verpackung) • reich an Poly- und Monosacchariden • sehr stärkehaltig <p>→ Quelle: (Rodríguez-Martínez et al., 2022)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • reich an Mineralstoffen (z.B. Kalium, Magnesium) • (Avocadokernöl) reich an Vitaminen (z.B. C, E und K) <p>→ Quelle: (Benvenuti et al., 2025)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthält Protein • enthält natürliche Farbstoffe <p>→ Quelle: (Tesfaye et al., 2022)</p>
Presskuchen	<ul style="list-style-type: none"> • Proteinreich • reich an Lipiden & Ölen • enthält antioxidative Verbindungen <p>→ Quelle: (Rodríguez-Martínez et al., 2022)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthält Omega-Fettsäuren (z.B. Omega-9) • enthält Phytosterolen & Tocopherolen • ballaststoffreich • enthält Kohlenhydrate <p>→ Quelle: (Benvenuti et al., 2025)</p>

3.3.4.6 Mögliche Weiterverwertungen

Tabelle 17 veranschaulicht in welchen Bereichen die NP aus der Avocadoverarbeitung theoretisch Verwendung finden könnten. Aufgelistet ist entweder das Endprodukt, das aus dem jeweiligen NP gewonnen werden kann, das Endprodukt, zur dessen Herstellung einzelne Inhaltsstoffe aus dem NP verwendet werden oder der Inhaltsstoff selber, der unterschiedliche Anwendungen in einem Sektor oder in mehreren Sektoren haben kann. Ein vielfältig einsetzbarer Inhaltsstoff ist die Stärke aus dem Avocadokern. Stärke wird in vielen Industrien benötigt wie z.B. Papierindustrie, Herstellung von Medizinischen Geräten, Verpackungsindustrie, Brauereiiindustrie und viele weiteren. Zurzeit ist es üblich Stärke zu verwenden, die aus Lebensmitteln wie z.B. Mais oder Reis stammt. Dies ist jedoch bedenklich, wenn der Welthunger berücksichtigt wird. Die Stärke aus den Avocadokernen hat großes Potential zur Lösung dieses Problems beizutragen, da die Kerne kein Grundnahrungsmittel sind (Tessfaye et al., 2022).

Tabelle 17: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Avocados potenziell möglich wären (eigene Darstellung)

NP	Sektor					
	Lebensmittel	Textil	Kosmetik	Medizin	Energie	Sonstiges
Schale	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	LM-Zusatz zur Anreicherung, LM-Farbstoff, Aroma, Verdickungsmittel, NEM, Mehl	färbt Textilien (in diesem Laborversuch schwache Färbung)	phenolische Verbindungen, ätherische Öle & aromatische Verbindungen, Pigmentgewinnung	Inhaltsstoffe für Medikamente z.B. gegen Entzündungen, phenolische Verbindungen	Biokraftstoffe (Festbrennstoff, Ethanol und Biogas, Biodiesel)	Biochemikalien, kohlenstoffhaltiges Adsorptionsmaterial (Kern ist besser)
Kern	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	LM-Zusatz zur Anreicherung, LM-Farbstoff, Aroma, Verdickungsmittel, NEM, Milchsäureherstellung, Getränkeanreicherung, Tierfütterung (nach Vorbehandlung)	färbt Textilien (in diesem Laborversuch schwache Färbung), Stärke als Leimungs-, Versteifungs- oder Verdickungsmittel, Biopolymere als Faserquellen- und Biokomposite	phenolische Verbindungen, ätherische Öle & aromatische Verbindungen, Pigmentgewinnung, Lotionen, Cremes, Flüssigseifen, Kosmetikfarbstoff	Inhaltsstoffe für Medikamente z.B. gegen Harnwegsinfektionen, phenolische Verbindungen, Biopolymer, Öl, Medikamente für Tiere	(besser als Schale) Biokraftstoffe (Festbrennstoff, Ethanol und Biogas, Biodiesel, Öl, Holzkohle)	LM-Verpackungsmaterial & essbare Folien, Bio-Chemikalien, Lignin als Biosorptionsmittel (kohlenstoffhaltig) → Einsatz in Textilindustrie möglich
Presskuchen	✓	✓	✓	k.I.	✓	k.I.
Einsatz	LM-Zusatz zur Anreicherung, Pigmentgewinnung, ÖL, Mehl	Pigmentgewinnung	Pigmentgewinnung, ÖL	/	Bio-Diesel	/

(Coman et al., 2020; Rodríguez-Martínez et al., 2022; Benvenuti et al., 2025; Tesfaye et al., 2022; Colombo und Papetti, 2019)

3.3.5 Karotten

3.3.5.1 Anbau

Karotten werden überall auf der Welt angebaut. Die ursprüngliche Karotte ist lilafarben, doch durch Mutationen ist sie heutzutage in vielen Farben wie gelb, weiß, lila, schwarz, rot oder orange erhältlich. Karotten haben neben der Farbe auch je nach Sorte unterschiedliche Formen und Größen. Die

bekannteste Sorte ist die orangefarbene. Sie hat ihren Ursprung in Westasien und gehört mittlerweile zu den meisteingepflanzten Gemüsesorten der Welt (Barzee et al., 2019; Coman et al., 2020; Song et al., 2018).

Im Jahr 2021 waren die 5 Länder mit der weltweit größten Karotten-Erntemengen China (18,18 Mio. t), Usbekistan (3,16 Mio. t), USA (1,43 Mio. t), Russland (1,30 Mio. t) und Deutschland (0,96 Mio. t) (Atlas Big, o.J.).

3.3.5.2 Verwendung der Karotten

In der industriellen Verarbeitung werden vor allem orangefarbene Karotten verwendet. Sie werden hauptsächlich für die Herstellung von Karottensaft benötigt. Nach Tomatensaft ist Karottensaft der meistkonsumierte Gemüsesaft (Barzee et al., 2019). Aber auch für die Produktion von anderen Produkten, wie z.B. Tiefkühlkarotten, Gemüsechips und -Riegel, Fertiggerichte, Salate, Babykarotten, Pürees, Suppen, Karottenpulver, Babynahrung, Karottenkonfitüre, Karottenkäse, Karottennudeln, Konserven oder Karottenjogurt, ist die Mohrrübe wichtig (Ding, Liu, 2024).

3.3.5.3 Nebenprodukte

Die NP, die während der Verarbeitung entstehen, ist das Karottengrün, das je nach Verwendungszweck der Karotte schon auf dem Acker abgetrennt wird, Karottentrestler und die Schale. Bevor Karotten zu Saft verarbeitet werden, werden sie gewaschen und geschält. Bei der Karottensaftproduktion kann bis zu 50 % der Karottenmasse verloren gehen (Barzee et al., 2019).

3.3.5.4 Ernte und Lagerung

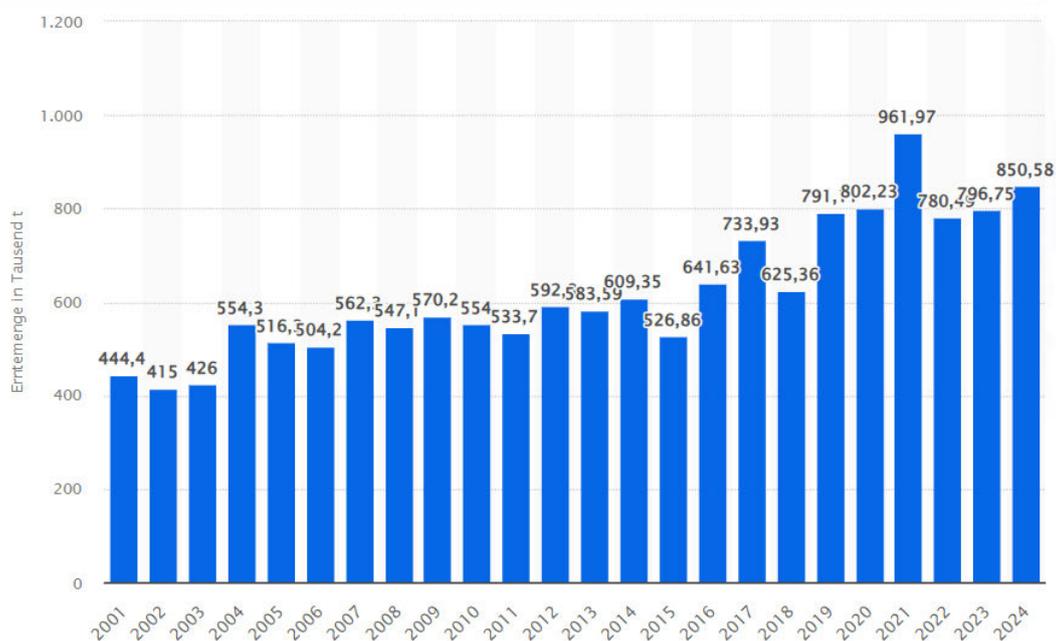
Karotten können per Hand oder maschinell z.B. mit einem Karottenroder geerntet werden (Barzee et al., 2019). Die maschinelle Erntemethode hängt vom späteren Verwendungszweck der Karotte ab. Wenn sie als Frischkarotte verkauft wird, dann wird sie mit dem Karottengrün geerntet, indem die Karotte an den Blättern aus der Erde rausgezogen wird. Ist der Verwendungszweck z.B. als Tiefkühlgemüse, dann wird noch während der Ernte das Karottengrün von der Erntemaschine abgeschnitten und die Knolle wird aus der Erde gehoben (Land schafft Leben, 2025).

Im Jahr 2024 wurden in Deutschland insgesamt um die 850.580 t Karotten geerntet (Ahrens, 2025c). Die Erntemenge von Karotten in Deutschland von 2001 bis 2024 ist in Abb. 10 dargestellt. Seit 2019 hat Deutschland die größte Erntemenge an Karotten in ganz Europa. Frankreich, Polen und die Niederlande folgen als nächstes. Die gesamte Erntemenge in der EU im Jahr 2024 betrug 4,7 Mio. t. Kein anderes Gemüse hat die Karottenerntemenge in dem Jahr übertreffen können. Doch trotz der hohen Produktion werden Karotten ins Land aus anderen EU-Ländern importiert. Die zusätzlichen

222.000 t kommen hauptsächlich aus den Niederlanden (ca. 92.000 t), Spanien (ca. 38.000 t) und Italien (ca. 34.000 t) (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, 2025).

Auf Grund der unterschiedlichen Sorten, ist es möglich Karotten in verschiedenen Monaten zu ernten. Die Erntesaison beginnt in Deutschland im Mai und endet im Dezember. Die meisten Karotten sind von Juli bis Oktober erhältlich. Während der Wintermonate und bis in den Mai hinein sind außerdem importierte - hauptsächlich aus Italien - und gelagerte Karotten aus heimischem Anbau erhältlich (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, o. J.; Alnatura Produktions- und Handels GmbH, o. J.).

Nach der Ernte werden die Karotten zu Orten gebracht, wo sie gelagert werden. Dabei kann es sich um Kühlräume handeln, muss es aber nicht. Weitere Arbeitsschritte wären das Waschen, Sortieren und Verpacken. Dies geschieht aber nach der Lagerung, falls sie überhaupt notwendig sein sollte. Ungewaschene Karotten sind besser haltbar als gewaschene. Unter idealen Bedingungen (ungefähr 0 °C, 99 % relative Luftfeuchtigkeit), die Verfall und Dehydration verhindern, ist eine Lagerung von 5–9 Monaten möglich (Barzee et al., 2019, S. 302).



Details: Deutschland; im Freiland

© Statista 2025

Abbildung 10: Erntemenge von Möhren und Karotten im Freiland in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2024 in 1.000 Tonnen (Ahrens, 2025c)

3.3.5.5 Eigenschaften

In Tabelle 18 sind sie Eigenschaften des Karottentresters, der Karottenschale und des Karottengrüns dargestellt.

Tabelle 18: Eigenschaften der Nebenprodukte von Karotten (eigene Darstellung)

NP	Eigenschaft
Trester/ Presskuchen	<ul style="list-style-type: none"> • enthält bis zu 80 % Carotine • reich an Zuckern • ballaststoffreich • viele Phenole • nährstoffreich • enthalten Carboxyl- und Hydroxylgruppen (haben Kationaustauscheigenschaften) <p>➔ Quelle: (Barzee et al., 2019)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenhydratreich <p>➔ Quelle: (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • reich an Glykoproteinen (starke biologische Aktivität, antioxidativ, Anti-Aging Effekt, schützen Zellmembran) <p>➔ Quelle: (Ding, Liu, 2024)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Proteingehalt • enthält β-Carotin, Lipide, Polysaccharide & Polyphenole • enthält Mineralstoffe (z.B. Natrium, Kalium, Calcium, Phosphor, Magnesium, Kupfer, Mangan, Eisen & Zink) • gute Quelle für sekundäre Pflanzenstoffe (z.B. Polyphenole, Carotinoide) <p>➔ Quelle: (Luca, Ungureanu-Iuga & Mironeasa, 2022)</p>
Schale	<ul style="list-style-type: none"> • Polyphenolreich • reich an Carotinoiden (α- und β-Carotin) ➔ verbessern Insulinrestistenz <p>➔ (Eliopoulos et al., 2022)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthält Ballaststoffe z.B. Pektin • enthält Vitamine (z.B. A, B, C, E) <p>➔ Quelle: (Coman et al., 2020)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthält Chlorogensäure (antioxidativ, reguliert Blutzuckerspiegel, unterstützt Gewichtsabnahme) <p>➔ Quelle: (Bhardwaj et al., 2022)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • enthalten Polysaccharide • nur geringer Gehalt an Rohprotein, Lipiden und Kohlenhydraten • viele Antioxidantien <p>➔ Quelle: (Chantaro, Devahastin & Chiewchan, 2008)</p>
Karottengrün	<ul style="list-style-type: none"> • reich an Polyphenolen (über 10-mal mehr Gesamtphenolverbindungen als in frischen Karotten) • enthält Carotinoiden, Vitaminen & Mineralien • enthält Luteolin (Flavonoid) (antioxidativ, entzündungshemmend, antibakteriell, Einsatz bei Krebsbehandlung, HIV-1 & Hemmung Alzheimer) <p>➔ Quelle: (Song et al., 2018)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Nährstoffreich • enthält Ω-3 & Ω-6 Fettsäuren • enthält Antioxidantien • enthält Proteine • enthält Lipide • enthält Stearinsäure, Myristinsäure, Behensäure, Palmitoleinsäure und Alpha-Linolensäure • enthält die Mineralstoffe Calcium, Natrium, Kalium & Magnesium <p>➔ Quelle: (Leite et al., 2011)</p>

3.3.5.6 Mögliche Weiterverwertungen

In Tabelle 19 sind die unterschiedlichen Weiterverwertungsmöglichkeiten dargestellt, die sowohl theoretisch möglich wie auch vorstellbar wären und eine Alternative zu den momentanen Entsorgungsmöglichkeiten bieten könnten. Aufgelistet ist entweder das Endprodukt, das aus dem jeweiligen NP hergestellt werden kann oder ein Inhaltsstoff, der zu unterschiedlichen Zwecken in einem Sektor verwendet werden kann. So sind z.B. im Karottengrün verschiedene Säuren enthalten wie die Stearinsäure, Myristinsäure, Behensäure, Palmitoleinsäure und Alpha-Linolensäure. Diese sind alle in Lebensmittelbereich, oft als Nahrungsergänzungsmittel (NEM), und im Kosmetikbereich einsetzbar. Manche sind auch im medizinischen Bereich, in z.B. Medikamenten, anwendbar. Weil die Auflistung zu lange gewesen wäre, sind diese Säuren in der Tabelle nur mit „versch. Säuren“ abgekürzt worden. Ihre Anwendungen sind vielfältig.

Tabelle 19: Anwendungen, die mit den Nebenprodukten der Karotten potenziell möglich wären (eigene Darstellung)

NP	Sektor					
	Lebensmittel	Textil	Kosmetik	Medizin	Energie	Sonstiges
Trester	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	LM-Zusatz zur Anreicherung in Getränken, Backwaren, Joghurts & Hühnerwürstchen, Mehl, Pektin als Süßungs-, Verdickungs- und Geliermittel, LM-Farbstoff, NEM	Bio-Sorptionsmittel für Schwermetalle im Wasser (besonders Chrom-, Kupfer-, Cobalt- & Zinkionen)	Aktivkohle, Karottenextrakt für Kosmetikartikel	Aktivkohle, Impfstoffprototypen, Carotinoide zur Diabetisbehandlung	Biogas, Bioethanol, Biowasserstoff	Carotinoide zur Entwicklung intelligenter biologisch abbaubarer Folie zur Überwachung des Verderbs & Qualität von Fleischprodukten, Meeress Früchten, Milch & anderen LM, Fast-Food-Schalen
Schale	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Einsatz	Pektin, LM-Zusatz z.B. Anreicherung von Backwaren & Joghurts, LM-Farbstoff	Bio-Sorptionsmittel aus synthetisierter Aktivkohle	Aktivkohle	Impfstoffprototypen, Carotinoide zur Diabetisbehandlung, Aktivkohle	Biogas, Bioethanol, Biowasserstoff	essbare + biologisch abbaubare Biokunststoffe für LM, intelligente Folie für LM, Fast-Food-Schalen
Karotten-grün	✓	k.I.	✓	✓	k.I.	k.I.
Einsatz	Polyphenole → Antioxidantien, LM-Pigment; NEM, LM-Zusatz, versch. Säuren	hat im Laborversuch schwach gefärbt	Polyphenole → Anti-Aging, Antioxidantien; versch. Säuren	Polyphenole → Antioxidantien; Stearinsäure, Behensäure	eventuell Biogas, aber keine Eindeutige Aussage in Quellen	/

(Barzee et al., 2019; Coman et al., 2020; Eliopoulos et al., 2022; Ding und Liu, 2024; M. Sánchez et al., 2021; Song et al., 2018; Leite et al., 2011)

3.4 Experteninterview

Am 05.04.2025 wurde in Form eines Schriftverkehrs über E-Mail ein Experteninterview mit der Geschäftsführerin Helma Jansen von der Zwiebel Jansen GmbH, einem in Brüggen ansässigem Unternehmen, das sich auf das Schälen und Schneiden von Zwiebeln spezialisiert hat, geführt. Die Beweggründe für die Fragen, waren mangelnde Information in den Literaturquellen, Wunsch nach Bestätigung der gefundenen Information und persönliches Interesse. Es wurden 6 Fragen seitens der Autorin dieser Arbeit gestellt.

Frage 1: Wieviel Gewicht an Lebensmittelabfällen fällt bei Ihnen im Unternehmen täglich und/oder jährlich an?

Antwort 1: Die Höhe des Abfalls richtet sich nach der verarbeiteten Menge.

Frage 2: Wo wird der anfallende Müll entsorgt, z.B. auf einer Deponie oder in einer Verbrennungsanlage?

Antwort 2: Die Schalen werden zu einer Kompostierungsanlage gefahren und dort entsorgt.

Frage 3: Werden der untere und obere Teil der Zwiebel von der Schale getrennt oder fällt alles auf einen Haufen?

Antwort 3: Bei dem Abfall handelt es sich um die Zwiebelschale, die entfernt wird, um die Zwiebel verzehrfertig zu schälen. Die Zwiebel wird maschinell geschält: Dazu wird die Kopf- und Wurzelscheibe entfernt, dann die äußere Schale. So, wie Sie es händisch mit einem Handmesser machen würden.

Frage 4: Wird nur die äußere trockene Schale abgemacht oder auch noch eine der Schichte, die da drunter liegt?

Auf diese Frage gab es keine Antwort, aber die Antwort 3 würde auch zur Frage 4 passen.

Frage 5: Werden die Zwiebeln irgendwie verarbeitet bzw. vorbereitet bevor sie geschält werden, z.B. durch vorherige Kühlung oder Dampfbearbeitung?

Antwort 5: Nein, die Zwiebel wird als Rohware dem Verarbeitungsbetrieb zugeführt. Um die Zwiebel haltbar zu machen, liegt sie in einem Lager, welches über Temperaturen und Luftströme gelenkt wird.

Frage 6: Gibt es Fachbegriffe für die entsorgten Teile der Zwiebel (oberer und unterer Teil, trockene Schale und eventuell die Schalenschicht unter der trockenen Schale)?

Antwort 6: Nein.

3.5 Nachhaltigkeit

Das Wiederverwenden der Nebenströme hat nicht nur wirtschaftliche und umweltbezogene Vorteile, sondern ist auch laut § 6 Abs. 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes eine Notwendigkeit in Bezug auf die Nachhaltigkeit. In Abb. 11 ist die Abfallhierarchie dargestellt, um die es in dem eben genannten Paragraphen geht. Sie ist auch auf LM anwendbar. Von oben nach unten sind die besten bis schlechten Optionen mit Abfällen dargestellt. In erster Linie sollte die Vermeidung stehen. Da dies bei Nebenprodukten nicht möglich ist, ist die Wiederverwertung die nächstbeste Option. Mit der Wiederverwertung ist gemeint, dass NP so weit verarbeitet werden, dass sie wieder für den menschlichen Verzehr wieder geeignet sind. Dazu kann z.B. die Verarbeitung zum Mehl oder als LM-Zusatz usw. gehören. Ist dies jedoch keine Option mehr, ist Recycling die nächste Möglichkeit. Damit ist gemeint, dass die NP für Zwecke genutzt werden, die mit dem menschlichen Verzehr nichts zu tun haben, z.B. Verwendung als Viehfutter, Kompostierung, Einsatz in Kosmetikprodukten usw. Sonstige Verwertung wäre unter anderem die Energieproduktion. Die Beseitigung auf z.B. Deponien sollte dagegen die letzte Option sein und so wenig praktiziert werden, wie möglich (Szulecka et al., 2019, S. 258; Röwer, 2021, S. 40)

Es gibt nicht die eine richtige Lösung, wie mit dem Problem der Anfallenden NP umgegangen werden soll; die Abfallhierarchie ist jedoch ein Ansatz und ist mit den, oben vorgestellten, Ideen zu den theoretisch möglichen Weiterverwertungen vereinbar. Für ein gutes Gelingen ist die Zusammenarbeit mehrerer Interessengruppen und öffentlich-privater Partnerschaften wichtig. Es kommt z.B. unter anderem auf die Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen, bei denen die NP anfallen, und den Unternehmen, die die NP weiterbearbeiten, und die Regelung der Transportwege an. (Szulecka et al., 2019, S. 253–258; Röwer, 2021, S. 2–3)

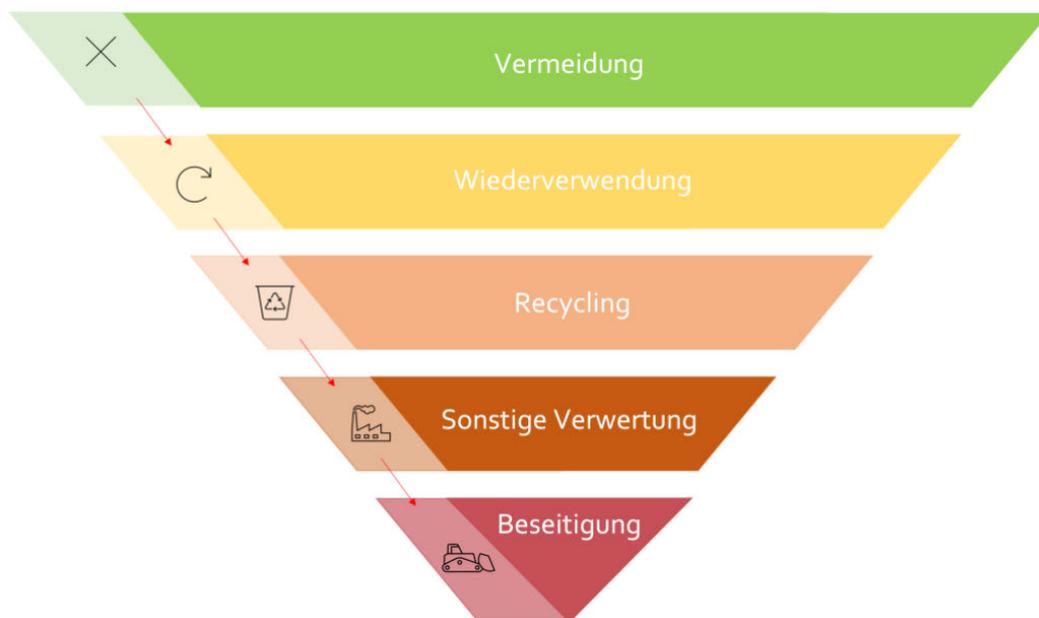


Abbildung 11: Abfallhierarchie nach § 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (Kolo, 2023)

4 Diskussion

4.1 Methodendiskussion

4.1.1 Limitation bezüglich der Methodik

Zum Thema Nebenströme gibt es viele wissenschaftliche Quellen, insbesondere wenn es sich dabei um die Reststoffe von Obst und Gemüse handelt. Eine Limitation in Bezug auf die systematische Literaturrecherche war jedoch, dass viele Quellen durch eine gute Überschrift oder Abstract den Eindruck vermitteln, dass sie das Thema oder einen Teil davon gut darstellen würden. Beim Lesen wurde jedoch festgestellt, dass der Text ein ganz anderes Thema behandelt als erwartet, nicht ausführlich genug ist und keine aussagekräftige Schlussfolgerung enthält oder andere NP thematisiert, die für diese Arbeit nicht relevant sind. Diese Faktoren haben eine systematische Literaturrecherche deutlich erschwert, da viele der benötigten Quellen nicht auf direktem Weg gefunden werden konnten und die Schneeballmethode als Alternative angewendet werden musste.

4.1.2 Literaturübergreifende Limitationen

Unabhängig von der Suchmethode weisen die Quellen einige Gemeinsamkeiten auf, wie z.B., dass es kaum einen Bezug zu Deutschland gibt. Information, die sich direkt auf Deutschland bezieht, musste entweder hergeleitet oder separat gesucht werden. Die meisten Quellen beziehen sich auf die weltweit größten Anbau- und Verarbeitungsländer bezüglich eines Rohstoffs oder sind allgemein und beziehen sich auf globale Datenangaben.

Eine weitere Gemeinsamkeit einiger Quellen, in denen es um die Rohstoffe geht, ist, dass es Widersprüche zum selben Thema und in Bezug auf dasselbe Lebensmittel gibt. Manchmal gibt es sogar Widersprüche in derselben Quelle. Zusätzlich wurde je nach Quelle eine Datenabweichung beobachtet.

Eine von mehreren Erklärungen für die Datenabweichung ist, dass in der Literatur häufig nicht zwischen Lebensmittelabfällen und Nebenprodukten unterschieden wird. Beim Lesen ist es häufig nicht eindeutig, ob mit Lebensmittelabfall die NP gemeint sind oder ob sie unter anderem in diesen Begriff miteingeschlossen oder schon ausgeschlossen wurden. Andere Quellen wiederum zählen zu den NP auch LM hinzu, auf die die Definition eines Nebenproduktes nicht zutrifft, wie z.B. ganze essbare Früchte oder Gemüse, die aufgrund von menschlichem Versagen oder technischer Probleme, z.B. falsche Lagerung oder Transportschäden, für die weitere Verwendung nicht mehr geeignet sind und entsorgt werden müssen. Wenn die Bedeutung der Begriffe nicht deutlich genug definiert ist, können die Daten variieren. Uneindeutige Zahlen, bei denen es nicht klar war, worauf sie sich beziehen, wurden deswegen in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

4.1.3 Lebensmittel betreffende Limitationen

Auch die Lebensmittel selbst betreffend, waren die Literaturquellen nicht immer eindeutig. In manchen Quellen wurden die NP hinsichtlich ihrer Eigenschaften verallgemeinert. So war in den Texten oft die Rede von Reststoffen eines LM, und welche Nutzen und Eigenschaften sie haben könnten, aber es wurde kaum genannt um welche NP es sich dabei genau handelt. Solche Verallgemeinerungen sind kritisch zu bewerten, da sich der Nährstoffgehalt und die physikochemischen Eigenschaften je nach NP (z.B. Schale, Trester, Kern & Blätter) voneinander stark unterscheiden können, auch wenn diese NP vom selben Lebensmittel stammen. Ein Abgleich mit weiteren Quellen war für eine Feststellung, auf welches Nebenprodukt sich eine Aussage bezieht und in welchem Bereich eine Verwendung theoretisch möglich ist, erforderlich. Uneindeutige Aussagen, zu deren Klarstellung andere Quellen nichts beitragen konnten, wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Problematisch war auch die sprachliche Barriere, da fast alle Texte auf Englisch sind. Vor allem die Literatur über die Zwiebel hat sich als schwierig erwiesen, da es im Englischen viel mehr Begriffe für die einzelnen anatomischen Bestandteile einer Zwiebel gibt als im Deutschen. Da einige Begriffe im Deutschen nicht existieren, hat sich die Übersetzung als kompliziert herausgestellt. So gibt es im Englischen z.B. mehrere Begriffe für die Unterteilung der unterschiedlichen Zweibelschichten, während es im Deutschen alles als Blätter oder Schale bezeichnet werden kann. Um zu verstehen, um welches NP es in einem Text geht, musste die Autoren die neuen Begriffe erstmal lernen und sie dem richtigen Zwiebelabschnitt zuordnen. Verkompliziert wurde das noch durch englische Synonyme, die je nach Quelle variieren können und denselben Zwiebelteil beschrieben, wie in einer anderen Quelle, aber mit einem anderen Begriff.

4.1.4 Stofffärbung betreffende Limitation

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Bereiche – Lebensmittel und Textilien – miteinander verknüpft. Es ist jedoch nochmal darauf hinzuweisen, dass die Autorin dieser Arbeit nur über ein geringes Wissen über die Textilfärbung und -behandlung verfügt. Das wenige vorhandene Wissen wurde während des Verlaufs der gesamten Dauer der Arbeit mit der begleitenden Forschung und mit der Unterstützung der Partnerin Catalina Whittle, deren Anteil der Textil lastige Teil dieser Zwillingssbachelorarbeit ist, angeeignet.

4.2 Ergebnisdiskussion

An Anfang dieser Arbeit wurde zwei Forschungsfragen vorgestellt, die es zu beantworten gibt:

1. Welche pflanzlichen Nebenströme aus der Lebensmittelindustrie in Deutschland eignen sich am besten für die Wiederverwertung in der Stofffärbung, um das beste farbliche Ergebnis zu erreichen und das Wegwerfen der Lebensmittelnebenprodukte zu reduzieren?
2. Ist es möglich ein Verwertungskonzept für pflanzliche Lebensmittelnebenströme mit Bezug zur Textilindustrie zu entwickeln, das eine vollständige Nutzung der Reststoffe ermöglicht oder zumindest die verbleibenden Rückstände auf ein Minimum reduziert?

4.2.1 Beantwortung der 1. Forschungsfrage

Alle Nebenprodukte, die für diese Arbeit ausgewählt wurden, waren dazu in der Lage mindestens ein Textil gut oder weniger gut zu färben. Am erfolgreichsten war jedoch die Färbung mit Zwiebel- und getrockneten grünen Walnussschalen. Die Färbungen hatten einen intensiven Farbton. Der Farbton und die Intensität sind stark von der textilen Faser abhängig. Die besten Ergebnisse wurden mit Nylon und Wolle erzielt. Die Farbe auf Baumwolle fiel von den drei verwendeten Stoffen am blassesten aus und wurde zudem auch am meisten ausgewaschen. Auch bei der Wolle wurde viel Farbe ausgewaschen. Dennoch zeigt diese Faser eine intensive Färbung auf. Das könnte an einer erhöhte Farbstoffaufnahme liegen, wo zwar viel ausgewaschen wird, aber dennoch viel in der Faser bleibt. Auf Nylon war die Farbe nicht nur besonders intensiv, sondern haftete von den drei Stoffen auch am besten und wurde am wenigsten ausgewaschen. Es ist wichtig die Textilwahl zu beachten und das Auswaschen einzuberechnen, wenn das Erreichen eines bestimmten Farbtons beabsichtigt wird. Die Wahl der Beize war für das farbliche Ergebnis nicht ausschlaggebend.

Da nicht alle NP für die Färbung geeignet sind, in Bezug auf ihre unbefriedigende farbliche Intensität, kommt nur eine begrenzte Anzahl an Nebenströmen in Frage, die zur Färbung eingesetzt werden können. Dementsprechend sind auch die farblichen Möglichkeiten eingeschränkt. Zusätzlich zu beachten ist auch, dass es sich bei der Zwiebelschale und der grünen Walnussschale um Naturprodukte handelt, weswegen der Farbton dieser NP auf den Textilien nicht vorherzusagen ist und variieren kann. Vor allem in Bezug auf die Zwiebelschale war das im Verlauf der Forschung sehr deutlich geworden. Bei drei identischen Farbsuden waren die farblichen Schwankungen sehr stark (Whittle, 2025). Das kann unterschiedliche Gründe haben. Zum einen ist nicht jede Zwiebelschale identisch und deren Farbstoffgehalt kann variieren. Zum anderen kann der Unterschied auch in der Qualität eines LM liegen. Je nach Jahreszeit, Wetter, Anbauort, Qualität der Erde, Lagerung etc. können die Merkmale des selben Lebensmittels bzw. die der Nebenprodukte wenig bis sehr stark schwanken. Die Schwierigkeit mit der farblichen Reproduzierbarkeit könnte ein Problem bei der Massenproduktion von Kleidungsstücken sein, da Kunden für gewöhnlich bestimmte Erwartungen an die Farbe ihrer Kleidungsstücke haben. Die Farbe sollte waschecht sein und die Schwankungen im Farbton nur gering bis gar nicht. Auch in Bezug auf das Nachkaufen eines Kleidungsstücks könnte das

problematisch sein. Aufgrund der Schwankungen können Textilien, die mit den NP gefärbt wurden, mit der farblichen Qualität großer Marken nicht mithalten. Jedoch kann diese Art der Textilfärbung andere Zielgruppen ansprechen, denen die Nachhaltigkeit sehr wichtig ist, die farbliche Schwankungen in Kauf nehmen, einen Wert auf Individualität legen und sich von Fast Fashion distanzieren. Für diese Zielgruppe, Läden und Unternehmen, die sowas anbieten wollen, können Textilien, die mit NP gefärbt wurden, eine sehr gute Alternative sein. Anwendbar wäre die Färbung mit den Nebenströmen nicht nur auf Kleidung, sondern könnte auch für Textilien verwendet werden, die weniger häufig gewaschen werden und wo farbliche Schwankungen vernachlässigbar sind, wie z.B. Jutebeutel oder Dekorkissen. Diesbezüglich müssten aber andere Aspekte berücksichtigt werden, wie die Reibecktheit. Dieses Thema wird in dieser Arbeit nicht aufgegriffen, jedoch wird in der Arbeit von Catalina Whittle (2025) darauf eingegangen.

Um mit NP Textilien im größeren Ausmaß färben zu können ist eine Abschätzung der benötigten Mengen erforderlich, die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht möglich ist. Es ist notwendig zu wissen wieviel NP für das Färben generell erforderlich sind, aber auch, ob die Mengen, die in Deutschland anfallen, überhaupt ausreichend sind, um eine gewünschte Anzahl an Textilien zu färben. Je nach NP kann diese Menge nicht ausreichend sein und Reststoffe aus anderen Ländern könnten benötigt werden. Dies könnte mit dem Aspekt der Nachhaltigkeit im Konflikt stehen.

In Bezug auf die Nachhaltigkeit, Aufwand und Kosten ist auch zu beachten, dass die grünen Walnusschalen in Deutschland kein lokales Nebenprodukt sind. Walnüsse werden zwar nach Deutschland exportiert, aber ihre Schalen bleiben meistens in den Ländern wo sie geerntet und verarbeitet werden. Wird sich dazu entscheiden in Deutschland Textilien mit grünen Walnusschalen zu färben, dann müssten sie ins Land separat importiert werden. Der Import mit den Walnüssen gemeinsam könnte sich als finanziell problematisch erweisen, da viele Unternehmen es häufig bevorzugen ungeschälte Nüsse zu kaufen (Suard et al., 2024, S. 27). Alternativ könnten die Textilien in den Ländern gefärbt werden, wo die grünen WNS in großen Mengen anfallen, und die Stoffe würden dann nach Deutschland importieren werden, aber das Problem mit den Transportwegen wäre dann immer noch nicht gelöst.

4.2.2 Beantwortung der 2. Forschungsfrage

Die Nebenströme der Lebensmittelindustrie sind sehr gut dazu geeignet, um sie im Bereich der Textilindustrie einzusetzen. Dabei kann es sich um eine direkte Verwendung handeln oder eine indirekte.

Mit der direkten Verwendung ist gemeint, dass einige NP in der Theorie durchaus dazu verwendet werden können, um mit ihnen Textilien zu färben. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die NP am Ende trotzdem weggeworfen werden müssen, denn sie werden nur dazu benötigt, um aus ihnen den Farbstoff zu extrahieren. Die Masse an sich bleibt bestehen. Dennoch hat diese Weiterverwendung der NP aus umwelttechnischer Sicht mehr Vorteile als die Entsorgung direkt nach dem Anfallen.

Durch die Weiterverwertung können bis dahin ungenutzte Ressourcen besser eingesetzt werden und es ist möglich etwas Neues zu kreieren auf eine Weise, wo die bisherigen Methoden für Umweltprobleme gesorgt haben. Das Problem der Abfallmengen wäre zwar immer noch präsent, aber die Ressourcenverschwendung könnte dadurch verringert werden.

In der Praxis muss es jedoch noch abgeschätzt werden, wie gut das Färben mit Nebenströmen tatsächlich funktioniert, wieviel Mengen an NP benötigt werden und wie groß die Nachfrage und Akzeptanz bezüglich der Qualität wäre. Aufgrund ihres mangelnden Wissens zur Stofffärbung, kann sich die Autorin zu weiteren Einzelheiten bezüglich der Praxis und Informationen, die über die Forschung im Rahmen dieser Zwillingbachelorarbeit hinausgehen, nicht äußern.

Neben der direkten Verwendung in der Textilindustrie gibt es auch die indirekte. Damit ist gemeint, dass die Nebenströme zwar eine Verwendung im Textilbereich finden, aber keine direkten Berührungspunkte mit den Textilien haben. So können die Reststoffe dazu eingesetzt werden, um mit deren Hilfe andere Stoffe herzustellen, wie z.B. Essigsäure (Sagar et al., 2022, S. 3), die vielfältig eingesetzt werden kann, oder Bio-Sorptionsmittel. Bio-Sorptionsmittel kommen mit Textilien gar nicht in Berührung, sind aber für die Textilindustrie sehr wichtig. Durch das Färben gelangen toxische Stoffe in Gewässer. Bio-Sorptionsmittel sind sehr gut dafür geeignet, um diese Stoffe aus dem Wasser zu filtern und sie zu neutralisieren. Sie könnten der Textilindustrie - genauso wie anderen Industrien – enorm dabei helfen weniger negativen Einfluss auf die Umwelt auszuüben (Khir, Pan, 2019, S. 400). Einen besonders großen Vorteil haben die Bio-Sorptionsmittel gegenüber den synthetischen Sorptionsmitteln, dass sie zwar genauso stabil und mindestens genauso effizient sind, aber aus ungenutzten Ressourcen hergestellt werden könnten, biologisch abbaubar sind und günstiger in der Beschaffung. Zudem werden die NP, die für die Herstellung benötigt werden, zu einem großen Teil verwendet, was auch nochmal zusätzlich für die Umwelt vorteilhaft ist (Jahanban-Esfahlan et al., 2020, S. 7029 ff.).

Die Einsatzmöglichkeiten der NP sollten jedoch nicht nur auf die Textilindustrie beschränkt werden. Auch andere Sektoren wie z.B. der Lebensmittel-, Kosmetik, Medizin-, Energie- oder Bau-sektor sind auf der Suche nach Quellen für neue Ressourcen, Alternativen und innovativen Ideen. Umweltbelastung ist in all diesen Bereichen ebenfalls ein Problem, für das momentan Lösungen gesucht werden (Singh, 2024, S. 3 ff.). Wird sich mit der Weiterverwertung nicht nur auf den textilen Bereich beschränkt, dann können die Reststoffe vielfältige Einsatzmöglichkeiten finden und einen größeren Nutzen erzielen. Je mehr Nebenprodukte benötigt werden, desto weniger landen auf Deponien oder in Verbrennungsanlagen, es werden mehr Ressourcen erschlossen, es hat Vorteile für die Umwelt und kann nicht nur in Deutschland genutzt werden, sondern überall auf der Welt; je nachdem welche lokalen NP zur Verfügung stehen. Es ist auch anzumerken, dass die NP in anderen Bereichen vollständig oder größtenteils verarbeitet werden können und keine oder nur wenige Reste übrigbleiben. Einige Reststoffe könnten z.B. zu biologisch abbaubarer Folie für LM verarbeitet werden (Otoni et al., 2018, S. 67 ff.). Das wäre nicht nur für die Verpackungs- und Lebensmittelindustrie nützlich,

sondern würde auch zur Verringerung der Umweltverschmutzung aus mehreren Hinsichten beitragen.

Besonders erwähnenswert ist der Lebensmittelbereich. Da die NP noch als Abfallprodukte gelten und sie in der Praxis noch nicht im ausreichenden Ausmaß verwertet werden und für den menschlichen Verzehr nicht vorgesehen sind, werden sie samt ihrer wertvollen Inhaltsstoffe entsorgt (Röwer, 2021, S. 7 f., 51). Zahlreiche Studien und Versuche belegen jedoch, dass es möglich ist die NP dem Lebensmittelkreislauf wieder zuzuführen und die Nährstoffe, denen sich entledigt wurde, als Teil der Nahrung zu sich zu nehmen (Eliopoulos et al., 2022). Die effektive Ressourcennutzung ist besonders mit Hinblick auf die wachsende Weltbevölkerung und den Welthunger relevant.

Die Erstellung eines Konzeptes zur Reduzierung der Mengen an weggeworfenen NP ist in der Theorie sehr gut machbar, doch momentan scheitert es noch, in Bezug auf alle Reststoffe, an der Praxis. Die Ideen sind vorhanden, aber es fehlt das nötige Wissen für die Umsetzung und weitere Forschungen sind notwendig. So haben sich z.B. die harten braunen WNS als gute Bio-Sorptionsmittel herausgestellt, aber es gibt immer noch Bereiche bei denen das nicht eindeutig ist, ob und in welchem Ausmaß sie in der Lage sind bestimmte Stoffe, wie z.B. Medikamente, aus Gewässern zu filtern. Es muss auch erforscht werden in welchen anderen Sektoren die innovativen Ideen einzusetzen sind und an welche Grenzen sie stoßen könnten. Manchmal ist die Forschung auch schon fortgeschritten, aber es fehlen Tests zur Umsetzung in großen, und damit relevanten, Maßstäben. Es muss auch noch untersucht werden, wie sich die hergestellten Materialien unter nicht-Laborbedingungen verhalten würden (Jahanban-Esfahlan et al., 2020). Aber selbst, wenn alle Voraussetzungen für die Umsetzung vorhanden sein sollten, so scheitert es häufig an der Technologie. Für einige Prozesse sind neuartige Technologien notwendig, die es noch gar nicht gibt, oder die noch in der Entwicklungsphase sind und in der Praxis noch nicht genutzt werden können. Zusätzlich ist deren Beschaffung und Anwendung kostspielig und geschultes Personal wird dafür benötigt. Es gibt einige Prozesse zur Extraktion von Stoffen aus den NP, auf die zurückgegriffen werden könnte, aber die sind umweltschädigend und stehend im Konflikt mit der Idee der Nachhaltigkeit (Sagar et al., 2022). Die wenigen umweltfreundlichen Methoden, die aktuell in Betracht gezogen werden könnten, sind jedoch wenig effizient (Cirrincione et al., 2024).

Die Effizienz ist ein weiteres Kriterium an dem gearbeitet werden muss. Vor allem in Bezug auf den Transport. Selbst wenn die nötigen Technologien voll entwickelt wären und die Anschaffungs- und Wartungskosten nebensächlich, wäre der Transport immer noch ein Problem. Die NP müssten von einem verarbeitenden Unternehmen zum anderen transportiert werden. Um unnötigen CO₂ - Ausstoß und zusätzliche Kosten einzusparen, sollten Multifunktionale Anlagen zur Verwertung der NP, in Betracht gezogen werden. Eine neue Lieferkette wäre dafür notwendig (Cirrincione et al., 2024).

Solche Vorhaben sind langfristig gesehen eine gute Investition, denn es wäre nicht nur für die Umwelt besser, da eine herkömmliche Entsorgung negative Auswirkungen hat, sondern würde auch zur lukrativen Erschließung des vollen Potenzials der NP führen. Eine Weiterverwertung bringt

Geld ein, während die Entsorgung Geld kostet. Die Voraussetzung muss allerdings sein, dass die Ideen zur Weiterverwertung sich auch praktisch umsetzen lassen (Cirrincione et al., 2024). Die Kosten, die mit solchen Vorhaben verbunden sind, lassen sich noch nicht abschätzen. Das Bezieht sich sowohl auf die Errichtung neuer Strukturen wie auch auf die neuen Technologien und die Verarbeitung und Lagerung der NP. Die absehbaren Kosten, wie auch die nicht absehbaren, könnten eines der Hauptgründe sein, wieso sich Unternehmen gegen eine Verwertung der NP entscheiden könnten.

5 Schlussfolgerung

5.1 Fazit

Nebenprodukte aus der industriellen Verarbeitung der Lebensmittelindustrie können in der Textilindustrie eingesetzt werden. Es ist möglich mit einigen Restprodukten Textilien zu färben, jedoch sollte es besser untersucht werden, wie gut das in der Praxis machbar ist.

Die Nutzung der Nebenströme sollte aber nicht nur auf den textilen Bereich beschränkt, sondern auch auf andere Bereiche ausgeweitet werden. Das würde die Vielfältigkeit der Nutzungsmöglichkeiten ausweiten und hätte einen viel größeren Nutzen. In Bezug auf die Umwelt könnte die Weiterverwendung der Reststoffe große Vorteile haben und für Verbesserungen sorgen. Momentan sind viele Anwendungsideen jedoch nur in der Theorie anwendbar, da sowohl die nötigen Technologien für die Umsetzung fehlen, als auch mehr Forschungen notwendig sind.

5.2 Ausblick

Für diese Arbeit wurden die Nebenprodukte von 5 pflanzlichen Lebensmittel berücksichtigt. Forschungslücken, die auf all diese Produkte in Bezug auf die Weiterverwertung zutreffen, wurden bereits in Kapitel 4.2.2 genannt. Hinsichtlich der einzelnen LM gibt es jedoch noch Wissenslücken, die erforscht werden müssen.

5.2.1 Walnüsse

Anwendung von braunen Walnusschalen als Bio-Sorptionsmittel muss unter realen Bedingungen geprüft werden, wenn viele Stoffe auf einmal in einem Gewässer vom Sorptionsmittel aufgenommen werden müssen. Forschung in Bezug auf die Umsetzung und die möglichen Verbesserungen sind notwendig. Das Verständnis des Adsorptionsmechanismus der WNS muss erweitert werden (Jahanban-Esfahlan et al., 2020).

5.2.2 Zwiebeln

Es gibt einen Optimierungsbedarf in Bezug auf die Prozesse der Verarbeitung und die Einsatzmöglichkeiten der Zwiebelschalen (El Mashad et al., 2019). Außerdem ist die Anti-Adipositas-Wirkung noch nicht gut erforscht. Auch zu einigen anderen Wirkungen fehlt noch das Verständnis (Kumar et al., 2022).

5.2.3 Orangen

Es gibt eine Forschungslücke zur Extraktion der Inhaltsstoffe aus der Orangenschale. Als Zusatzstoffe verbessern die NP von Orangen die chemisch-physikalischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften eines LM, aber in Bezug auf den sensorischen Einfluss gibt es Verbesserungsbedarf. Einen Forschungsbedarf gibt es auch in Hinblick auf die Trocknungsmöglichkeiten und die Entbitterungsmethoden (Cirrincione et al., 2024). Es ist auch noch nicht eindeutig, wie wirksam die NP gegen eine Vielzahl von Bakterien, Pilzen und Hefen sind (M. Sánchez et al., 2021).

5.2.4 Avocados

Forschungen zur Extraktion von bioaktiven Verbindungen und deren Einsatzmöglichkeiten sind notwendig (Rodríguez-Martínez et al., 2022).

5.2.5 Karotten

Momentan sind nicht viele Anwendungsmöglichkeiten der Karotten-NP in anderen LM bekannt. Zudem sind Untersuchungen zu deren Akzeptanz in den LM erforderlich (Barzee et al., 2019). Um eine bessere Möglichkeit zur Herstellung neuartiger Produkte mit Mehrwert zu haben, bedarf es einer Quantifizierung der bioaktiven Verbindungen des Karottentresters (Luca, Ungureanu-Iuga & Mironeasa, 2022). Auch sind Forschungen und Verbesserungen bezüglich der Bioethanolproduktion aus den NP notwendig (Ding, Liu, 2024).

Literaturverzeichnis

- Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. 2025. „Fakten zu Möhre - kurz und knapp“. Meine Möhren. <https://www.meine-moehren.de/presse/daten-fakten>.
- Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH. o. J. „Saison“. Meine Möhren. Zugegriffen 31. Juli 2025. <https://www.meine-moehren.de/schon-gewusst/moehren-saison>.
- Ahrens, Sandra. 2025a. „Avocados: Führende Erzeugerländer 2023“. Statista, Juni 23. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1148479/umfrage/fuehrende-erzeuger-laender-avocados/>.
- Ahrens, Sandra. 2025b. „Erntemenge von Möhren und Karotten im Freiland in Deutschland bis 2024“. Statista, Juli 9. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/162322/umfrage/entwicklung-der-erzeugung-von-karotten/>.
- Alnatura Produktions- und Handels GmbH. o. J. „Möhren-Saison: Wann ist Möhren Zeit? - Alnatura Saisonkalender“. Alnatura. Zugegriffen 31. Juli 2025. <https://www.alnatura.de/de-de/magazin/saisonkalender/saisongemuese-gemuese-im-saisonkalender/moehren-saison/>.
- Atlas Big. o. J. „Weltweite Karotten- und Rübenproduktion nach Ländern“. AtlasBig. Zugegriffen 29. Juli 2025. <https://atlasbig.de/weltweit-karotte-rube-produktion>.
- Babbitt, Callie W. 2017. „Foundations of Sustainable Food Waste Solutions: Innovation, Evaluation, and Standardization“. *Clean Technologies and Environmental Policy* 19 (5): 1255–56. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1364-7>.
- Barzee, Tyler J., Hamed M. El- Mashad, Ruihong Zhang, und Zhongli Pan. 2019. „Carrots“. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00012-5>.
- Benvenuti, Laís, Fernanda Moreira Moura, Gabriela Zanghelini, Cristina Barrera, Lucía Seguí, und Acácio Antonio Ferreira Zielinski. 2025. „An Upcycling Approach from Fruit Processing By-Products: Flour for Use in Food Products“. *Foods* 14 (2): 153. <https://doi.org/10.3390/foods14020153>.
- Betjemann, Mara. 2023. „Zweites Leben für Orangenschalen bei PeelPioneers“. *Wirtschaft, Allgemein. Good News Magazin*, Juli 7. <https://goodnews-magazin.de/peelpioneers-recycelt-orangenschalen/>.
- Bhardwaj, Kanchan, Agnieszka Najda, Ruchi Sharma, u. a. 2022. „Fruit and Vegetable Peel-Enriched Functional Foods: Potential Avenues and Health Perspectives“. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine : eCAM* 2022 (Juli): 14. <https://doi.org/10.1155/2022/8543881>.
- BMEL. 2019. *Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung*. Februar 19, 20.
- BMEL. 2024. „Lebensmittelabfälle in Deutschland: Aktuelle Zahlen zur Höhe der Lebensmittelabfälle nach Sektoren“. BMEL, November 19.

- <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/lebensmittelverschwendung/studie-lebensmittelabfaelle-deutschland.html>.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. 2024. „Zwiebeln: BZL“. Zwiebeln, November 6. <https://www.landwirtschaft.de/einkauf/lebensmittel/pflanzliche-lebensmittel/zwiebeln>.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. 2025. „Warum werden in Deutschland nur so wenige Nüsse angebaut?: BZL“. www.landwirtschaft.de, Februar 17. <https://www.landwirtschaft.de/tier-und-pflanze/pflanze/obst/warum-werden-in-deutschland-nur-so-wenige-nuesse-angebaut>.
- Cederberg, Christel, und Ulf Sonesson. 2011. *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention; Study Conducted for the International Congress Save Food! At Interpack 2011, [16 - 17 May], Düsseldorf, Germany*. Herausgegeben von Jenny Gustavsson. International Congress Save Food!, Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Chantaro, Prawta, Sakamon Devahastin, und Naphaporn Chiewchan. 2008. „Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels“. *LWT - Food Science and Technology* 41 (10): 1987–94. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.013>.
- Chavan, Prasad, Avdesh Kumar Singh, und Gagandeep Kaur. 2018. „Recent Progress in the Utilization of Industrial Waste and By-Products of Citrus Fruits: A Review“. *Journal of Food Process Engineering* 41 (8): e12895. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12895>.
- chemie.de. o. J. „Quercetin“. www.chemie.de. Zugegriffen 11. Juli 2025. <https://www.chemie.de/lexikon/Quercetin.html>.
- Cirrincione, Federica, Pasquale Ferranti, Alessandra Ferrara, und Annalisa Romano. 2024. „A critical evaluation on the valorization strategies to reduce and reuse orange waste in bakery industry“. *Food Research International* 187 (Juli): 114422. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114422>.
- Colombo, Raffaella, und Adele Papetti. 2019. „Avocado (Persea Americana Mill.) by-Products and Their Impact: From Bioactive Compounds to Biomass Energy and Sorbent Material for Removing Contaminants. A Review“. *International Journal of Food Science & Technology* 54 (4): 943–51. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14143>.
- Coman, Vasile, Bernadette-Emőke Teleky, Laura Mitrea, u. a. 2020. „Chapter Five - Bioactive potential of fruit and vegetable wastes“. In *Advances in Food and Nutrition Research*, herausgegeben von Fidel Toldrá, Bd. 91. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.07.001>.
- Dietz, Hanna. 2008. „Essen aus Abfall - Biomüll - Lebensmittelverschwendung - pflanzliche Reststoffe - Apfeltrester - Oliventrester - Zuckerrübenabfall - Taste the Waste - UGB-Gesundheitsberatung“. Essen aus Abfall. www.ugb.de, März 20. <https://www.ugb.de/lebensmittel-im-test/essen-aus-abfall/>.
- Ding, Haiyan, und Menglong Liu. 2024. „From Root to Seed: Unearthing the Potential of Carrot Processing and Comprehensive Utilization“. *Food Science & Nutrition* 12 (11): 8762–78. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4542>.

- Ebner, Guido, Dieter Schelz, und Tadeus Reichstein. 1989. *Textilfärberei und Farbstoffe: Beispiele angewandter organischer Chemie*. Springer.
- El Mashad, Hamed M., Ruihong Zhang, und Zhongli Pan. 2019. „Onion and Garlic“. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00011-3>.
- Eliopoulos, Christos, Giorgos Markou, Ioanna Langousi, und Dimitrios Arapoglou. 2022. „Re-integration of Food Industry By-Products: Potential Applications“. *Foods* 11 (22): 3743. <https://doi.org/10.3390/foods11223743>.
- ESSEN WISSEN Stiftung Eildermann. o. J. „Orange“. *Essen Wissen Stiftung Eildermann*. Zugegriffen 17. Juli 2025. <https://essen-wissen.de/wissen/orange/>.
- FOODBOOM GmbH. 2015. „Avocado“. Text. KOCHSCHULE.de, November 18. <https://www.kochschule.de/kochwissen/avocado>.
- Gerhus, Jennifer. 2025. „Produktionsmenge von Orangensaft in Deutschland bis 2024“. Statista, Juli 11. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76867/umfrage/fruchtsaft-industrie-produktionsmenge-von-orangensaft-nicht-gefroren-seit-2004/>.
- Holme, I. 2016. „9 - Coloration of technical textiles“. In *Handbook of Technical Textiles (Second Edition)*, herausgegeben von A. Richard Horrocks und Subhash C. Anand. Woodhead Publishing Series in Textiles. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-458-1.00009-1>.
- Jahanban-Esfahlan, Ali, Rana Jahanban-Esfahlan, Mahnaz Tabibiazar, Leila Roufegarinejad, und Ryszard Amarowicz. 2020. „Recent advances in the use of walnut (*Juglans regia* L.) shell as a valuable plant-based bio-sorbent for the removal of hazardous materials“. *RSC Advances* 10 (12): 7026–47. <https://doi.org/10.1039/c9ra10084a>.
- Katsampa, Photene, Evdokea Valsamedou, Spyros Grigorakis, und Dimitris P. Makris. 2015. „A green ultrasound-assisted extraction process for the recovery of antioxidant polyphenols and pigments from onion solid wastes using Box–Behnken experimental design and kinetics“. *Industrial Crops and Products* 77 (Dezember): 535–43. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.039>.
- Khair, Ragab, und Zhongli Pan. 2019. „Walnuts“. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00016-2>.
- Kumar, Manoj, Mrunal D. Barbhai, Muzaffar Hasan, u. a. 2022. „Onion (*Allium cepa* L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities“. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 146 (Februar): 112498. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112498>.
- Land schafft Leben. 2025. „Wie wird die Karotte verarbeitet?“ <https://landschafttleben.at>.
- LECKER.de. o. J. „Orangenpresse - so einfach geht gesund!“ Zugegriffen 24. Juli 2025. <https://www.lecker.de/orangenpresse-so-einfach-geht-gesund-76628.html>.
- Leite, Camila Wihby, Marcela Boroski, Joana Schuelter Boeing, u. a. 2011. „Chemical Characterization of Leaves of Organically Grown Carrot (*Dacus Carota* L.) in Various Stages of

- Development for Use as Food“. *Food Science and Technology* 31 (September): 735–38. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300028>.
- Leroma GmbH. 2021. „Textilien, Designerlampen und Kunststoffe aus Orangenschalen“. [leroma.de](https://leroma.de/de/blog/id/orange-peels.html), Dezember 21. <https://leroma.de/de/blog/id/orange-peels.html>.
- Luca, Marian Ilie, Mădălina Ungureanu-Iuga, und Silvia Mironeasa. 2022. „Carrot Pomace Characterization for Application in Cereal-Based Products“. *Applied Sciences* 12 (16): 16. <https://doi.org/10.3390/app12167989>.
- Muntwyler, Stefan. 2010. „Beize“. *Material-Archiv*. https://materialarchiv.ch/de/ma:glossary_term_351?type=all.
- Negro, Viviana, Bernardo Ruggeri, Debora Fino, und Davide Tonini. 2017. „Life cycle assessment of orange peel waste management“. *Resources, Conservation and Recycling* 127 (Dezember): 148–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.014>.
- Östergren, Karin, Jenny Gustavsson, Hilke Bos-Brouwers, u. a. 2014. *FUSIONS definitional framework for food waste. Full report*.
- Otoni, Caio G., Beatriz D. Lodi, Marcos V. Lorevice, u. a. 2018. „Optimized and scaled-up production of cellulose-reinforced biodegradable composite films made up of carrot processing waste“. *Industrial Crops and Products* 121 (Oktober): 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.003>.
- PCC-Group. 2022. „Sorptionsmittel – was sind sie und wofür werden sie verwendet?“ *Produktportal der PCC-Gruppe*, Mai 12. <https://www.products.pcc.eu/de/blog/sorptionsmittel-was-sind-sie-und-wofuer-werden-sie-verwendet/>.
- PeelPioneers. 2025. „Vacancy • PeelPioneers“. Firmenwebsite. PeelPioneers, Mai 23. <https://peelpioneers.nl/vacancy/>.
- Prübe, Ulf, Liane Hüther, und Karsten Hohgardt. o. J. „Mittlere Gewichte einzelner Obst- und Gemüseerzeugnisse“. *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 116.
- RedCorn, Raymond, Samira Fatemi, und Abigail S. Engelberth. 2018. „Comparing End-Use Potential for Industrial Food-Waste Sources“. *Engineering* 4 (3): 371–80. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.010>.
- Rodríguez-Martínez, Beatriz, Aloia Romani, Gemma Eibes, Gil Garrote, Beatriz Gullón, und Pablo G. del Río. 2022. „Potential and prospects for utilization of avocado by-products in integrated biorefineries“. *Bioresource Technology* 364 (November): 128034. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128034>.
- Rouette, Hans K. 2008. *Enzyklopädie Textilveredlung: Bd. 2; F-K*. 1., Auflage. Band II, F-K. Edition Textiltechnik. Deutscher Fachverlag.
- Röwer, Diana. 2021. *Abfälle in der Lebensmittelindustrie: Der richtige Umgang mit anfallenden Produktionsresten und Verpackungen*. 1. Aufl. BEHR´S.

- Sagar, Narashans Alok, Yogesh Kumar, Ramveer Singh, u. a. 2022. „Onion waste based-biorefinery for sustainable generation of value-added products“. *Bioresource Technology* 362 (Oktober): 127870. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127870>.
- Sagar, Narashans Alok, Sunil Pareek, Sunil Sharma, Elhadi M. Yahia, und Maria Gloria Lobo. 2018. „Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization“. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17 (3): 512–31. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>.
- Salem, Mohamed A., Hend E. Abo Mansour, Esraa M. Mosalam, Riham A. El-Shiekh, Shahira M. Ezzat, und Ahmed Zayed. 2023. „Valorization of By-Products Derived from Onions and Potato: Extraction Optimization, Metabolic Profile, Outstanding Bioactivities, and Industrial Applications“. *Waste and Biomass Valorization* 14 (6): 1823–58. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-02027-x>.
- Sánchez, Antoni, Adriana Artola, Xavier Font, u. a. 2015. „Greenhouse Gas Emissions from Organic Waste Composting“. *Environmental Chemistry Letters* 13 (3): 223–38. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0507-5>.
- Sánchez, Marta, Amanda Laca, Adriana Laca, und Mario Díaz. 2021. „Value-Added Products from Fruit and Vegetable Wastes: A Review“. *CLEAN – Soil, Air, Water* 49 (8): 2000376. <https://doi.org/10.1002/clen.202000376>.
- Schmidt, Thomas G., Felicitas Schneider, Dominik Leverenz, und Gerold Hafner. 2019. *Lebensmittelabfälle in Deutschland - Baseline 2015*. Thünen-Report 71. Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut. <https://doi.org/10.3220/REP1563519883000>.
- Singh, Pardeep, Hrsg. 2024. *Dye Pollution from Textile Industry: Challenges and Opportunities for Sustainable Development*. SDGs and Textiles. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-97-5341-3>.
- Song, Rui, Marliya Ismail, Saeid Baroutian, und Mohammed Farid. 2018. „Effect of Subcritical Water on the Extraction of Bioactive Compounds from Carrot Leaves“. *Food and Bio-process Technology* 11 (10): 1895–903. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2151-0>.
- Sticher, Otto. 2010. „Phenolische Verbindungen“. In *Pharmakognosie — Phytopharmazie*, herausgegeben von Rudolf Hänsel und Otto Sticher. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00963-1_26.
- Suard, Thierry, Lena Caminada, Sara Amsler, und Andi Häseli. 2024. „Walnüsse - Anbau, Ernte und Verarbeitung bei kleinen Produktionsmengen“. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10817422>.
- Szulecka, Julia, Nhat Strøm-Andersen, Lisa Scordato, und Eili Skrivervik. 2019. „Multi-Level Governance of Food Waste“. In *From Waste to Value*, 1. Aufl., von Antje Klitkou, Arne Martin Fevolden, und Marco Capasso. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429460289-13>.
- Tesfaye, Tamrat, Million Ayele, Magdi Gibril, Eyasu Ferede, Derseh Yilie Limeneh, und Fangong Kong. 2022. „Beneficiation of avocado processing industry by-product: A review on future prospect“. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 5 (Januar): 100253. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100253>.

U.S. Environmental Protection Agency. 2016. „Sorbents“. Februar 20. <https://archive.epa.gov/emergencies/content/Learning/web/html/sorbents.html>.

Vollenhofer, Silke. 2023. *Grundlagen der Materialkunde: farbstoffe, kunststoffe, textilien, metalle*. Edition angewandte. DE GRUYTER.

Whittle, Catalina. 2025. *Färbeversuche mit Nebenströmen der Lebensmittelindustrie – Eine Einschätzung der Verwertbarkeit von Lebensmittelreststoffen in der industriellen Textilfärberei*. HAW Hamburg. Reposit der HAW Hamburg.

Anhang

Verzeichnis des Expertengesprächs

Bei dem abgebildeten Interview handelt es sich um Screenshots des E-Mail-Verlaufs, wo persönliche Daten, wie E-Mail oder Telefonnummer jedoch weggelassen wurden. Es wird nur die Konversation gezeigt. Die einzige abgebildete E-Mail ist die der Firma vom Kontaktformular der Webseite.

Nachricht:

Guten Tag,

ich bin eine Ökotrophologie Studentin an der HAW Hamburg und bin gerade dabei meine Bachelorarbeit zu schreiben. Es geht darum, ob man mit den Nebenstößen, die in der Lebensmittelindustrie anfallen, Textilien färben kann und welche anderen Verwertungsmöglichkeiten es noch gibt. Einer der 5 ausgewählten Lebensmitteln sind Zwiebeln. Während meiner Recherche bin ich deshalb auf Ihr Unternehmen aufmerksam geworden. In Bezug auf Zwiebeln und Zweibelschalen sind bei mir noch Fragen offen geblieben und wenn Sie sie mir beantworten könnten, dann wäre es mir eine sehr große Hilfe und würde meine Bachelorarbeit aufwerten. Folgendes habe ich mich gefragt:

1. Wieviel Gewicht Lebensmittelabfall fällt bei Ihnen im Unternehmen täglich und/oder jährlich an?
2. Wo wird der anfallende Müll entsorgt z.B. auf Deponie oder in einer Verbrennungsanlage?
3. Werden der untere und obere Teil der Zwiebel von der Schale getrennt oder fällt alles auf einen Haufen?
4. Wird nur die äußere trockene Schale abgemacht oder auch noch eine der Schichten, die da drunter liegt?
5. Werden die Zwiebeln irgendwie verarbeitet bzw. vorbereitet bevor sie geschält werden z.B. durch vorherige Kühlung oder Dampfbearbeitung?
6. Gibt es Fachbegriffe für die entsorgten Teile der Zwiebel (oberer und unterer Teil, trockene Schale und eventuell die Schalenschicht unter der trockenen Schale)?

Wenn Sie mir bei den Fragen weiterhelfen könnten, dann würde ich mich sehr freuen und wäre Ihnen dankbar.

Ich hoffe, bald von Ihnen zu hören und bedanke mich im Voraus.

Mit freundlichen Grüßen

Natascha Sytnykova

info@zwiebel-jansen.de <info@zwiebel-jansen.de>

5. April 2025 um 09:33

An:

Hallo Frau ... sytnykova,

bei dem Abfall handelt es sich um die Zwiebelschale, die entfernt wird, um die Zwiebel verzehrfertig zu schälen. Die Höhe des Abfalls richtet sich nach der verarbeiteten Menge.

Die Schalen werden zu einer Kompostierungsanlage gefahren und dort entsorgt.

3. Die Zwiebel wird maschinell geschält: Dazu wird die Kopf- und Wurzelscheibe entfernt, dann die äußere Schale. (So, wie sie es händisch mit einem Handmesser machen würden.)

5. Nein, die Zwiebel wird als Rohware dem Verarbeitungsbetrieb zugeführt. Um die Zwiebel haltbar zu machen, liegt sie in einem Lager, welches über Temperaturen und Luftströme gelenkt wird.

6. Nein.

Viele Grüße,

Helma Jansen

Zwiebel Jansen GmbH

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, 18.09.2025

Unterschrift

