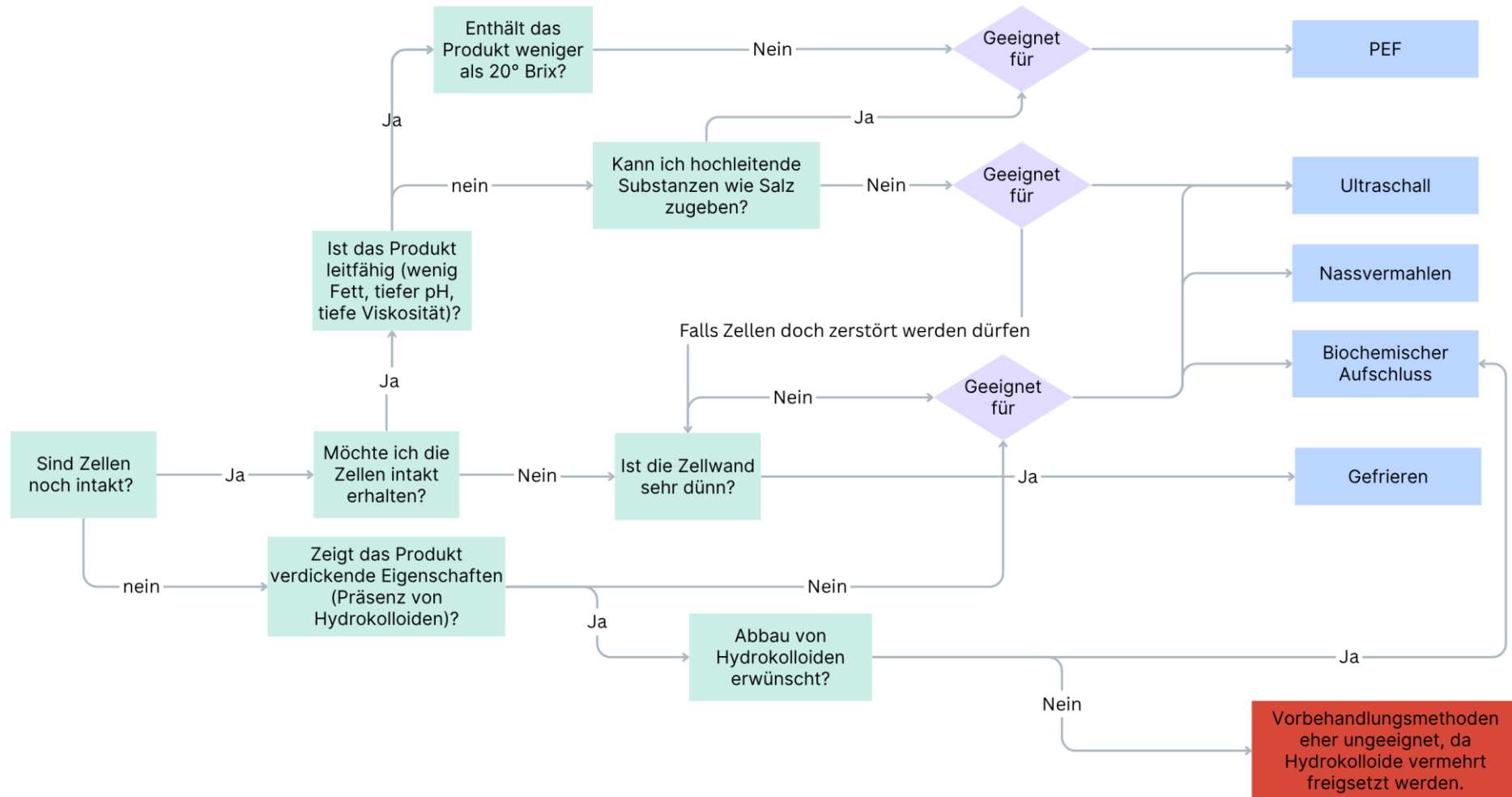
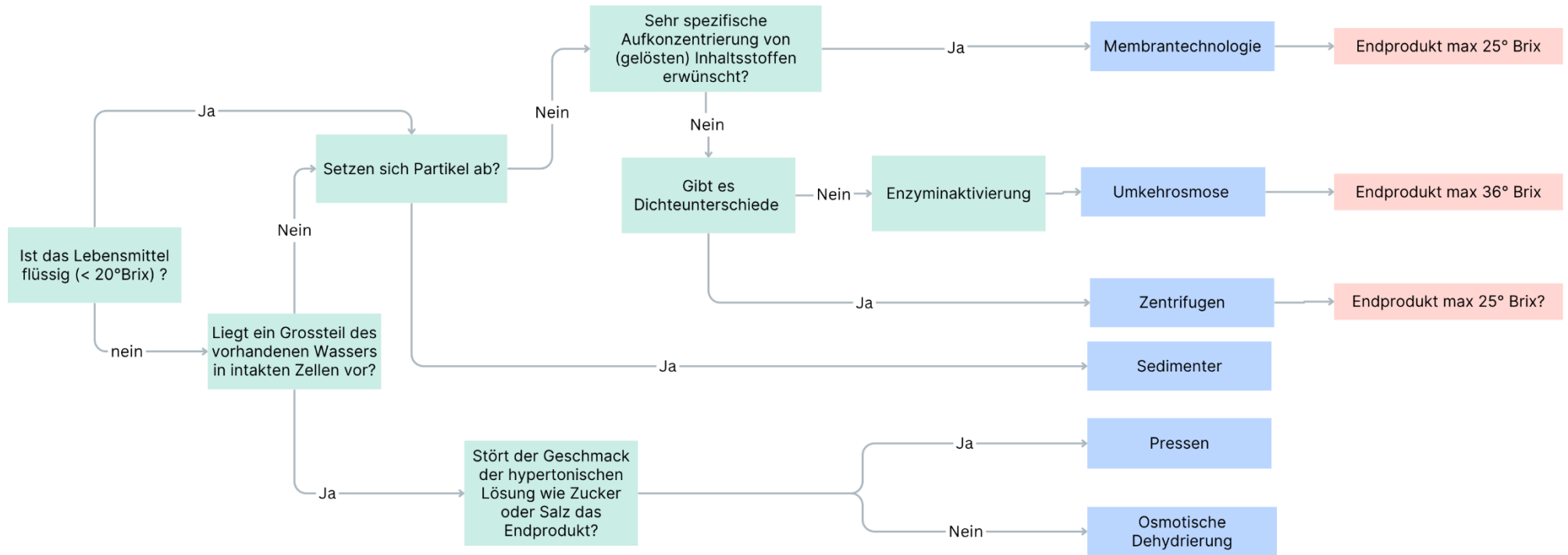
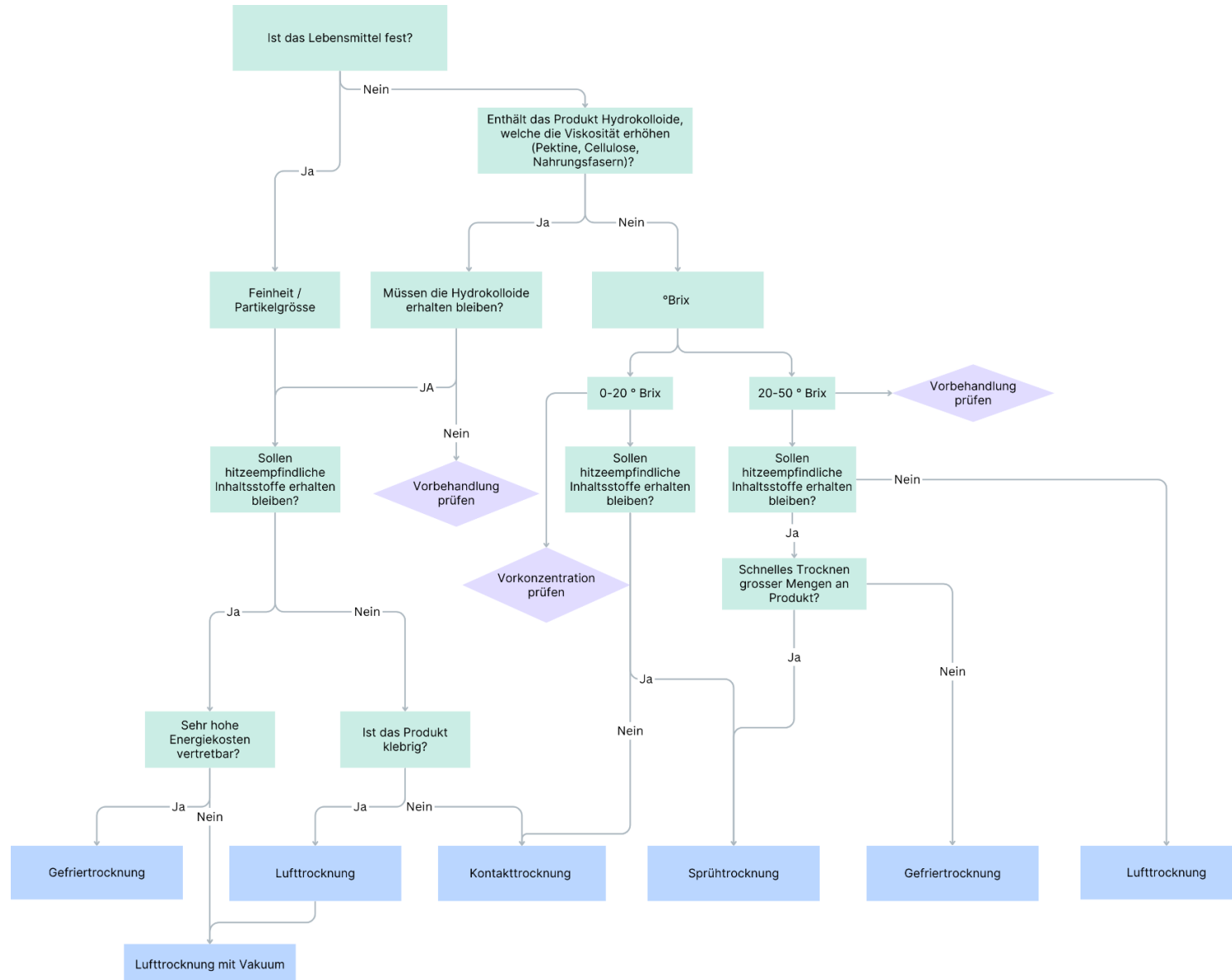


Entscheidungshilfe Nachhaltige Trocknungsprozesse: **Vorbehandlungsmethoden**

Entscheidungshilfe Nachhaltige Trocknungsprozesse: **Vorkonzentrationsmethoden**

Entscheidungshilfe Nachhaltige Trocknungsprozesse: **Trocknungsmethode für neue Rohstoffe**

Überblick und technische Eigenschaften von Thermischen Trocknungsmethoden

	Lufttrocknung	Sprühtrocknung	Kontakttrocknung	Gefriertrocknung	Vakuumentrocknung
Kurzbeschreibung	Ein trockener Heissluftstrom wärmt das Produkt und transportiert die verdunstete Feuchtigkeit ab	Eine Flüssigkeit wird durch einen Zerstäuber in kleine Tropfen (um) zerstäubt und in einem Luftstrom getrocknet	Ein pastöses Produkt wird als dünner Film auf eine heisse Oberfläche aufgetragen und getrocknet	Lebensmittel werden gefroren und das Wasser unter Vakuum durch Sublimation verdampft	Siedepunkt von Wasser wird über reduzierten Druck (Vakuum) erniedrigt. Dadurch verdampft das Wasser bei Temperaturen unter 100 Grad.
Vorteile	- Einfache Handhabung und Technologie (insbesondere bei Ofentrocknung) - Geeignet für mechanisch empfindliche Produkte - Geringer Raumbedarf - Geringe Investitionskosten	- Schonend - Geeignet für grosse Volumen - Erhaltung von Farbe und Sensorik - Gute Löslichkeit der Produkte	- Caramelaroma (Bsp Milch) - Energieeffizient (dank direkter Wärmeübertragung) - Gute Rehydrierung - Flexibel für versch. Lebensmittel von pastös bis flüssig - Kocht Lebensmittel gleichzeitig - Trocknung von klebrigen und schüttfähigen Lebensmitteln möglich	- Sehr hohe Produktqualität (Erhaltung von hitzesensitiven Komponenten wie Farbe, Vitamine, Proteine) - Geeignet für den Erhalt von förderlichen Mikroorganismen - Erhalt von Form und Struktur - Gute Rehydrierungseigenschaften	- Schonend - Kürzere Trocknungszeiten als ohne Vakuum - Mögliche Kombination mit allen Trocknungsmethoden
Nachteile	- Lange Trocknungszeit - Nicht uniforme Produktqualität - Geringe Energieeffizienz	- Verlust von latenter Hitze in der exhaust air - Hitzerückgewinnung schwierig wegen feiner Partikelgrösse - Oxidation von Fetten durch hohe Temperaturen - Ungeeignet für hochviskose Produkte wegen Sprühtechnik	- Hohe Produkttemperatur - Nicht geeignet für LM mit hohem Zucker- oder Salzanteil - Mässiger Throughput - Teilweise inhomogene Trocknung	- Häufig Batchverfahren - Lange Prozessdauer - Sehr teuer, nur geeignet für sehr hochwertige Produkte - Verlust von Elastizität und Erhalt einer viskosen Struktur nach der Rehydrierung	- Tiefere Produktionsrate wegen tieferen Temperaturen - Höhere Investitions- und Unterhaltskosten
Typische Technologien	Batch: Hordentrockner Kontinuierlich: Bandrockner, Wirbelschichtrockner, Trommelrockner		Walzentrocknung, Kontaktbandtrocknung, Schaufeltrocknung, Scheibentrocknung	Batch: Schrankrockner Kontinuierlich: Bandrocknung	Häufig kombiniert mit Technologien der Luft- und Kontakttrocknung.
Typische Produkt Temp.	40-80°C	60-90°C	90-120°C	-20°C	40-70°C
Typische Prozess Temp.	60-120°C	130-230°C	120-180°C	-50 bis -20°C 0.3-1 mbar	50-120°C 0.5 -100 mbar
Typische Zeit Dauer	2-10h (Batch) > 2min (Kontinuierliche Methoden)	< 1 min	< 2min (Walzentrocknung) < 2h (Band-, Scheiben-, Schaufeltrocknung)	< 24h	4-16 h
Durchschn. Energie Effizienz	niedrig (< 30%)	mittel (30-60%)	mittel (30-60%)	niedrig (< 30%)	mittel (30-60%)
Foodwaste	gering	grosse Einfuhrverluste	mittlere Einfuhrverluste	sehr gering	gering
Investitions Kosten	Tief	Hoch	Mittel	Hoch	Hoch
Effekt auf Inhaltsstoffe		Proteindenaturierungseffekte Laktose Kristallisation	Caramelisation von Zuckern		
Erhalt hitzeempfindl. Inhaltsstoffe	gering	gut	gering	sehr gut	gut
Flüssige LM (Edukt)	N	Y	Y	N	Y
Viskose LM (Edukt)	Y	(Y)	Y	Y	Y
Feste LM (Edukt)	Y	N	N	Y	Y
Edukt	Feste, pastöse LM	Flüssigkeiten mit max. 50% Trockenmasse (Viskosität ausschlaggebend)	Flüssige, Pastöse LM (weniger als 20% Trockenmasse)	Feste LM. Min. 30% Trockenmasse (ökonomisch gegeben)	
Pulver (Produkt)	Y	Y	(Y)	Y	Y
Flocken (Produkt)	Y	n	Y	Y	Y
Feste LM (Produkt)	Y	N	N	Y	Y
Produkteigenschaften	üblicherweise Endfeuchtegehalt von 4-7%	3-7% Endfeuchte, 1-800um Partikelgrösse, lösliches Pulver			
Beispiele	Obst, Gemüse, Kartoffeln, Fisch, Tee, Algen, Zucker	Milch, Instant Kaffee, Babynahrung	Milch, Kartoffelstock, Fruchtpulpe, Hefe, Sauerteig	Beeren, Kräuter	Kaffee, Malz, Beeren, Aromen
Quellen	(Schuchmann and Schuchmann 2005, Heindl 2016, Raghavi, Moses et al. 2018, Atunwu and Tassou 2018/10/01, Menon, Stojceska et al. 2020, Acar, Dincer et al. 2022, Jafari and Malekjani 2023, Martynenko and Alves Vieira 2023)	(Ramírez, Patel et al. 2006/09/01, Bhandari 2007, Moejes and Boxtel 2017/02/01, Raghavi, Moses et al. 2018, Bernaert, Droogenbroeck et al. 2019/02/01, Galstyan, Petrov et al. 2019/12/01, Acar, Dincer et al. 2022, Samborska, Poozesh et al. 2022/05/01, Jafari and Malekjani 2023, Martynenko and Alves Vieira 2023)	(Heindl 2016, Raghavi, Moses et al. 2018, Jafari and Malekjani 2023)	(Bernaert, Droogenbroeck et al. 2019/02/01, Calín-Sánchez, Lipan et al. 2020, Acar, Dincer et al. 2022, Jafari and Malekjani 2023, Martynenko and Alves Vieira 2023, Guo, Zhang et al. 2024)	(Jangam 2011, Menon, Stojceska et al. 2020, Huang, Yang et al. 2021/04/01, Jafari and Malekjani 2023)

Überblick und technische Eigenschaften von ausgewählten Vorbehandlungsmethoden

	Gefrieren	PEF	Biochemischer Aufschluss	Ultraschall	Nassvermahlen
Funktionsweise	Lebensmittel werden gefroren bei 0 bis -18°C. Das darin enthaltene Wasser wird fest und bildet Eiskristalle.	Behandlung der Lebensmittel mit kurzen Hochspannungspulsen. Die Zellmembranen werden dadurch perforiert bis hin zu zerstört. Durch diese Behandlung kann das Wasser leichter aus den Zellen austreten.	Die Lebensmittel werden biochemisch aufgeschlossen über die Zugabe von Enzymen oder Fermentation mit Mikroorganismen. Als Vorbehandlungsmethode für die Trocknung ist insbesondere der Aufschluss von Zellwänden und -membranen relevant, wodurch das intrazelluläre Wasser einfacher austreten kann.	Lebensmittel wird mit Ultraschall Wellen behandelt (Strahlen mit tiefer Frequenz und hoher Intensität), wodurch Mikrokanäle entstehen. Ähnlich wie bei einem Schwamm kann das Wasser somit leichter austreten.	Zerkleinerung des Lebensmittels in kleinere Partikelgrößen bis hin zu Püre
Vorteile	- Schonend für Inhaltsstoffe - Bekannte und einfach skalierbare Technologie	- Produkt erhitzt nur wenig - Erhöht Ausbeute - Verbessert die Verarbeitbarkeit von Lebensmitteln durch eine Aufweichung der Textur (zB Kartoffeln schneiden) - Führt zu einem besseren Erhalt der Struktur von festen Lebensmitteln, vermindert Schrumpfen und erhöht Anzahl Poren - Erhöhter Stoff- und Wärmetransport, dadurch gelangt Wasser schneller an Oberfläche (verkürzte Zeit und niedrigere Temperatur) - Inaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen (Ersatz Blanchieren) - Reduktion von Aflatoxinen	- Aufschluss von Zellwänden (zB Pektinabbau) - sehr spezifisch auf gewisse Inhaltsstoffe - Anreicherung gesundheitsfördernder Stoffe möglich (zB B12) - Reduktion der Filtrationszeit bis zu 50% bei Pektinentfernung in Fruchtsaft	- Geeignet für hitzensensitive Produkte - Signifikante Reduktion der Trocknungsenergie, speziell in Kombination mit Freeze Drying - Wenig Anpassungen nötig in existierenden Linien - Einfluss auf Enzymaktivität	- Vergrößerung der Oberfläche und somit Erhöhung der Trocknungsrate
Nachteile	- Hoher Energiebedarf für das Gefrieren und anschliessende Tiefkühlagerung - Strukturelle Veränderungen durch Eiskristallbildung (zB Tropfsaft bei Auftauen, oberflächliche Austrocknung bis hin zu Gefrierbrand) - Entmischen von Lösungen bei langsamem Gefrieren	- Hohe Investitionskosten, teuer - Ungeeignet für Lebensmittel mit sehr hoher oder niedriger Leitfähigkeit (zB hohe Zuckerkonzentration) - Entstehung von Blasen und gelöstem Gas führen zum Abfall der Dielektrizität - Wenige Standardprotokolle vorhanden - Geschultes Personal nötig - Elektrolyse von Wasser in O₂ und H₂ führt zu sekundären Reaktionen (zB pH Wert Verschiebungen) - Molekularer Sauerstoff kann Oxidation verstärken	- Veränderung Sensorik (zB tieferer pH führt zu mehr Säure) - sehr spezifische Prozesskonditionen nötig (Temperatur, Zusatz von Salzen etc) - Ungewisser Effekt auf die Trocknung durch die veränderte Zusammensetzung (positiv oder negativ)	- teure Technologie - schwieriges Scale-Up - Risiken für Mitarbeitende (Augen, Verbrennungen, Krebs)	- Kann die Wasserbindungskapazität von Ballaststoffen erhöhen und die anschliessende Trocknung stören
Technologie	Kälte wird erzeugt mithilfe von Kältemitteln und über Luft, Kontaktmaterial oder -flüssigkeiten auf das Lebensmittel übertragen.	Typische Prozessparameter: 20-80 kV/cm, 1-100µs - 1-250 kJ/kg - 700V		Typische Prozessparameter: 20-100 kHz - 10-1000 W/cm	
Typische Produkttemperatur	-18 bis -40°C	30-55°C	25-50°C	20-60°C	20-40°C
Typische Prozesstemperatur	-30 bis -50°C	RT	RT	RT	RT
Typische Zeitdauer	- schnell: < 0.5 -12h - langsam: > 12h	< 1min	30min - 2h (enzymatisch) - 12- 36h (Fermentation)	< 10min	< 1min
Durchschnittliche Energieeffizienz	mittel (30-60%)	hoch (> 60%)		niedrig (< 30%)	hoch (> 60%)
Foodwaste	gering	gering	mittel (Entstehung einer separaten Nebenstromfraktion)	gering	mittel
Kosten		- Reduktion der elektrischen Kosten um 20%, und 100% Gaskostenelimination -> Reduktion von Betriebskosten - Amortisation von 6-12 Monate (wenn Vorwärmbanchen) oder 12-18 Monate (bei Vorheizer) durch Wasser- und Energieeinsparungen im Kartoffelschneidprozess - Kosten 2006 von 1-2 EUR/L = 10 mal höher als thermisches Treatment. Dafür Reduktion von 100kJ/kg auf 40 kJ/kg) bzw Heinz et al 2002		- Reduktion der Trocknungszeit und Energie um bis zu 70% - Teuer	
Effekt auf Inhaltsstoffe	- Schonend, erhält sensorische und ernährungsphysiologische wichtige Eigenschaften	- Schonend - kann Proteine denaturieren und Enzyme inaktivieren - Verstärkte Oxidation möglich (zB Fette, Vitamine)		- Schonend	- Veränderung der Struktur von Ballaststoffen (Erhöhung von Wasserbindungsfähigkeit, Gellernmechanismen)
Flüssige LM (Edukt)	Y	Y	Y	Y	Y
Viskose LM (Edukt)	Y	(Y)	Y	Y	Y
Feste LM (Edukt)	Y	Y	N	Y	Y
Edukt		- Leitfähigkeit des Zytosols oder des extrazellulären mediums (zB gut geeignet bei niedrigem pH) - viskose, flüssige Lebensmittel - solid food - ideal für Lebensmittel mit tiefer ionischer Stärke und tiefer Leitfähigkeit		- Feststoffe und Luft beeinflussen Eindringtiefe	
Produkt					
Beispiele		Frucht und Gemüsestücke, Pommes & Chips Herstellung (10% weniger Fett wegen einer glatteren Schnittoberfläche, mehr erhaltene Stärke (ca 10% und somit 3-4% mehr Ausbeute) und weniger Maillard wegen effektiverer Auswaschung von Zucker) ungeeignet: LM mit Gasblasen		Gemüse, Getreide	
Quellen	(Schuchmann und Schuchmann 2005)	(Schuchmann und Schuchmann 2005, Pereira und Vicente 2010, Pamakov, Bals et al. 2016/06/01, Arshad, Abdul-Malek et al. 2020/10/01)	(Poulot, Conway et al. 2014, Augustin, Riley et al. 2016)	(Moses, Norton et al. 2014, Poulot, Conway et al. 2014, Colucci, Fessere et al. 2018/04/01, Merone, Colucci et al. 2020/10/01)	Dziki und Dziki 2020-12-16

Überblick und technische Eigenschaften von elektrotechnischen Erhitzungsverfahren

	Infrarotstrahlung	Mikrowelle	Ohmic Heating
Funktionsweise	Wärmeenergie wird durch elektromagnetische Wellen im Infrarotbereich erzeugt. IR führt zur Vibration der Moleküle im Lebensmittel, wodurch diese sich durch Reibung erhitzen und das Wasser schliesslich verdampft.	Mikrowellenstrahlen dringen ins Lebensmittel ein. Die elektromagnetische Energie führt zur Rotation der Moleküle, wodurch diese erhitzen und das Wasser verdampft.	Strom wird durch das Lebensmittel geleitet. Durch den sogenannten Ohm'schen Widerstand des Lebensmittels wandelt sich die eingeleitete elektrische Energie in thermische Energie um. *
Vorteile	- Gleichmässige Erhitzung des Lebensmittels (von der Oberfläche bis in den Kern) - Einfache Kontrolle der Lebensmitteltemperatur - Hohe Effizienz: hohe Hitzübertragungsrate und direkter Energietransfer aufs Produkt (kein Erhitzungsmedium wie Luft nötig) - Verbesserte Trocknung dank erhöhter Eindringtiefe (bis 5cm) - Reduktion der Trocknungszeit - Hohe Produktqualität, wenn kombiniert mit anderen Trocknungsmethoden - Gut kombinierbar mit anderen Erhitzungs/Trocknungsmethoden - Einfache Handhabung	- Hohe Effizienz: hohe Hitzübertragungsrate und direkter Energietransfer aufs Produkt (kein Erhitzungsmedium wie Luft nötig, kürzere Trocknungszeiten) - Energieeinsparungen insbesondere in Kombination mit thermischen Verfahren (32-71%) - Gute Strukturhaltung des Lebensmittels: Porosität, Rehydratation - Häufig kombiniert mit andere Trocknungsmethoden (verkürzt Trocknungszeit im Bereich 25-90% oder erhöht Trocknungsrate 32-71%)	- Schnelle und gleichmässige Erhitzung (insbesondere von flüssigen Lebensmitteln) - hohe Energieeffizienz (kein Restwärmeverlust, sobald Strom abgestellt wird) - je mehr Feuchtigkeit, desto effizienter - Kontrollierbar über Konduktivität - schnelle Stabilisierung von Strukturen (zB Schäumen, Teigen) - kein Fouling durch Wegfallen von heissen Oberflächen, entsprechend leichtere Reinigung - höhere Produktqualität dank kürzeren Erhitzungszeiten - Inaktivierung von Enzymen (und Mikroorganismen)
Nachteile	- Risiko von Produktüberhitzung - Limitierte Eindringtiefe der IR Strahlung - Limitierte Rehydrierungseigenschaften - Nicht geeignet für Trocknung von dicken Filmen oder grösseren Lebensmitteln - Schwierig, die richtigen Prozessparameter zu kontrollieren. Ideale Prozesstemperaturen und IR Intensität Einstellung schwierig	- Überhitzung von äusseren Strukturen (insbesondere Ecken), ausgeprägter am Ende der Trocknungszeit - Schwierig, die richtigen Prozessparameter zu finden - Fehlende Forschung im Industriemassstab	- Hohe Investitionskosten - Ungeeignet für LM mit hohem Fettanteil (wegen tiefer Konduktivität)
Technologie	- Infrarotstrahlen mit Wellenlängen zwischen 0.75-1000µm (NIR 0.75-2µm, MIR 2-4µm, FIR 4-1000µm) - Eindringtiefe ins Lebensmittel 0.21-2.54 mm - Vibration in einer Frequenz von 60'000-150'000 MHz - 100-9000W	- Frequenzen von 300 MHz bis 300 GHz (tiefere Frequenz= höhere Eindringtiefe), industriell jedoch nur 915 MHz und 2.45 GHz - Abhängig von der dielektrischen Leitfähigkeit - Weniger Überhitzung bei intermittenter Trocknung	- Umgebungsdruck - 5-10°C/s Heizrate - Elektrisches Feld < 100 V/cm
Typische Produkttemperatur	50-90°C	40-90°C	60-120°C
Typische Prozess Temperatur	80-200°C		
Typische Zeitdauer	< 3h	< 4h	< 1min
Durchschnittliche Energieeffizienz	mittel (30-60%)	mittel (30-60%)	hoch (> 60%)
Foodwaste	mittel (Verluste durch lokale Überhitzung)	gering	gering
Kosten	- günstige Installation	- hohe Investitionskosten	
Effekt auf Inhaltsstoffe	- Erhält sensorische und ernährungsphysiologische Qualität - Erhält phenolic compounds - Eeduziert Rehydration capacity - Minimale Farbveränderungen - Kann zur einer besseren Porosität beitragen	Erhaltung von Nährstoffen und Farben	Schonend
Flüssige LM (Edukt)	Y	Y	Y
Viskose LM (Edukt)	Y	Y	Y
Feste LM (Edukt)	Y	Y	N
Edukt	- flüssig/pastös oder relativ dünn (bis ca 5cm) - Geeignet für Effizienzsteigerung von bestehenden Trocknungsprozessen bei Lebensmitteln mit dünner Schichtdicke bis zu 5cm. Kürzere Trocknungsdauer führt zu einer besseren Produktqualität	Dielektrische Eigenschaften der Inhaltsstoffe	- viskose, flüssige Lebensmittel - elektrische Leitfähigkeit (ideal 0.1- 5 S/m) - Viskosität - Wärmekapazität - Homogenität (bei inhomogenen Lebensmitteln ergeben sich Temperaturunterschiede in den jeweiligen Phasen)
Produkt			
Beispiele	Früchte, Gemüse, Getreide, Meeresfrüchte, Pasta, Gewürze, Kräuter, Tee	Teigwaren, Fruchtsaftpulver	Eier, Joghurt, Fruchtsaft, Wein, Gelatine, Hydrokolloide (Margarine, Konfitüre, Pulver) ungeeignet: Fette, Öle, Alkohole (tiefe Leitfähigkeit durch apolare Bestandteile)
Quellen	(Salehi 2020-07-02, Sakare, Prasad et al. 2020-07-06, Guo, Wu et al. 2020/05/01, Huang, Yang et al. 2021/04/01, Martynenko and Alves Vieira 2023, Obajemihi, Cheng et al. 2023-4-26, Mohapatra 2024/09/06)	(Schuchmann und Schuchmann 2005, L. M. Ahne 2007, Moses, Norton et al. 2014, Pouliot, Conway et al. 2014, Guo, Sun et al. 2017/09/01, Jiang, Liu et al. 2017/09/01, Menon, Stojceska et al. 2020, Acar, Dincer et al. 2022, Mohapatra 2024/09/06)	(Pereira and Vicente 2010, Pouliot, Conway et al. 2014, Cokgezme, Sabanci et al. 2017/08/01, Menon, Stojceska et al. 2020, Acar, Dincer et al. 2022)

Überblick und technische Eigenschaften von Vorkonzentrationsmethoden

	Vakuumkonzentration	Membrantechnologie	Osmotische Dehydrierung	Umkehrosmose	Sedimenter	Zentrifugen	Pressen
Funktionsweise	Lebensmittel werden in mehreren Stufen immer höher aufkonzentriert, dies jeweils unter Vakuum.	Flüssige Lebensmittel werden durch eine Membran gepresst, welche Partikel und Moleküle einer spezifischen Grösse zurückhalten. Die treibende Kraft ist eine Druckdifferenz.	Lebensmittel werden in eine hypertontische Lösung getaucht (z.B. Zucker oder Salzlösung). Durch den osmotischen Druck geht Wasser aus dem Lebensmittel in die Lösung über (und kleine Mengen der Lösung in das Lebensmittel hinein).	Gelöste Stoffe werden vom Wasser getrennt. Das flüssige Lebensmittel wird mit Druck durch eine halbdurchlässige Membran gepresst, welche grosse Moleküle (Proteine, Aromen, Zucker, Salze) zurückhält und kleine Moleküle durchlässt (Wasser, Alkohol). Das Wasser wandert dabei von einer hoch konzentrierten Lösung (Lebensmittel), in eine niedrig konzentrierte.	Nutzung der Schwerkraft, wobei schwere Partikel absinken und leichter Partikel in der Lösung bleiben oder aufschwimmen.	Bestandteile von Lebensmitteln werden basierend auf ihrer Dichte getrennt. Durch Rotation wird eine sehr hohe Kraft erzeugt (Zentrifugalkraft), welche die schwereren Bestandteile nach aussen drückt und leichtere in der Mitte bleiben. Es gibt Filter und Sedimenter Zentrifugen.	Mechanischer Druck wird ausgeübt, um Flüssigkeiten aus festen Lebensmitteln herauszupressen.
Vorteile	- Schonende Behandlung, Erhaltung von Aromastoffen - Rückgewinnung von Aromastoffen möglich - Effiziente Energienutzung durch Wärmerückgewinnung innerhalb des Prozesses	- keine Erhitzung - Tiefe Kosten - Easy Scale Up durch Multiplikation von Membranen - Aufkonzentrierung ohne Phasenübergang (kein Gefrieren oder Eindampfen nötig) - kleine Platzansprüche - Entfernung von Oxidationsprodukten und Schwermetallen möglich - sehr spezifische Trennung von Inhaltsstoffen möglich	- keine Erhitzung - einfache Skalierung und breite Anwendbarkeit - Reduktion der Trocknungszeit - bessere Textur	- keine Erhitzung - tiefe Investitionskosten - Beibehaltung aller relevanter Inhaltsstoffe inklusive Aromen - 3-4 fache Aufkonzentrierung der Feststoffe	- keine Erhitzung - geeignet für die Vorabscheidung von groben Feststoffen	- keine Erhitzung - geeignet für die Abtrennung kleiner Partikel zwischen 0.1 und 100 µm	- keine Erhitzung - einfache und günstige Technologie - geeignet, um Fettbestandteile zu gewinnen
Nachteile	- längere Trocknungsdauer aufgrund tieferer Temperaturen	- begrenzt ab gewissen Feststoffkonzentrationen - Fäulnis der Membran * (insbesondere durch suspendierte Partikel wie Fette oder Proteinteile) - nur bis ca 25° Brix Aufkonzentrierung möglich (ev. höher bei der Kombination versch. Membranen)	- Lebensmittel nimmt einen kleinen Teil der hypertontischen Lösung auf (häufig Zucker)	- Fäulnisphänomene an der Membran - limitiert durch osmotischen Druck (nicht höher als 22-30°Brix Konzentration möglich) - Vorbehandlung einer Enzymaktivierung ist nötig - häufiges Ersetzen der Membran nötig - hoher Druck nötig - ungeeignet für Produkte mit hoher Konzentration von gelösten Stoffen - langsamer Durchfluss	- lange Prozesszeit		
Technologie	- Batchverfahren: Vakuumkonzentration (Kessel) - Kontinuierlich: Fallfilmverdampfer	- Umkehrosmose (Partikel < 0.4µm, 35-100bar, Salze, Kationen, Anionen, limitierend: osmotische Druck) - Nanofiltration (Partikel ca. 0.5µm, 10-30bar, Zucker, limitierend: Stoffdurchgangsraten) - Ultrafiltration (Partikel > 3µm, 1-10bar, Makromoleküle, limitierend: hohe Viskosität) - Mikrofiltration (Partikel > 25 nm, 1-10 bar, Suspensionen, Mikroorganismen, Fettkugeln, limitierend: Filterkuchenwiderstand)	- Einsatz von Mono-, Di- und Polysacchariden (Saccharose, Glucose, Maltose, Glycerin) sowie anorganischen Salzen (NaCl)			- oftmals Scheibenzentrifugen	- Hydraulische Pressen - Schneckenpresse - Bandpresse
Typische Produkttemperatur	40-70°C	20°C (teilweise höher, um Viskosität zu reduzieren)	20-50°C	< 40°C	20-60°C	20-60°C	20-60°C
Typische Prozesstemperatur	60-90°C* (mehrstufig)	RT	RT	< 55°C, 35-50 bar	RT	RT	RT
Typische Zeitdauer	< 3h	< 1h (bis zu 4h bei höherer Viskosität)	< 5h (selten bis zu 24h)	< 1h	< 1h	< 1 h	< 1h
Durchschnittliche Energieeffizienz	mittel (30-60%)	hoch (> 60%)	niedrig (< 30%)	hoch (> 60%)	hoch (> 60%)	hoch (> 60%)	hoch (> 60%)
Foodwaste	mittel (Schaumbildung, Kondensatverlust, Rückstände)	mittel (Entstehung einer separaten Nebenstromfraktion, Ablagerungen)	Hoch (Verlust wasserlöslicher Inhaltsstoffe)	tief	mittel (Entstehung einer separaten Nebenstromfraktion)	mittel (Entstehung einer separaten Nebenstromfraktion)	Hoch (Entstehung einer separaten Nebenstromfraktion)
Kosten		- Tiefe Investitionskosten - Kostenreduktion im Vergleich zu Verdampfung bei Zucker 10%, bei Ahornsirup 30%					
Effekt auf Inhaltsstoffe		- Trennung, Aufkonzentrierung - Gute Erhaltung von Farbe, Aromen, Inhaltsstoffe und Struktur	- Gute Erhaltung von Farbe, Inhaltsstoffe und Struktur	- Gute Erhaltung von Farbe, Inhaltsstoffe und Struktur - Volle Rückhaltung von Proteinen		- Trennung, Aufkonzentrierung von Inhaltsstoffe mit Dichteunterschieden < 100kg/m³	
Flüssige LM (Edukt)	Y	Y	N	Y		Y	
Viskose LM (Edukt)	(Y)	Y	(Y)	Y		Y	
Feste LM (Edukt)		N	Y	N		N	
Edukt				flüssige Lebensmittel, 5-15° Brix		- flüssig-flüssig oder fest-flüssige Lebensmittel	
Produkt	mindestens 24% Brix bis zu 80° Brix möglich (abhängig von der Viskosität des Produkts)	- konzentrierte Lebensmittel (bis zu 25° Brix)		konzentrierte Lebensmittel (bis zu 36°Brix			
Beispiele		Milch (Rahmabtrennung), Fruchtsaftaufbereitungen (z.B. Pekininfertigung), Zuckerproduktion, Bier (Entfernung Hefe), Trockenei (Entfernung Glucose)	Früchte und Gemüse	Milch, Fruchtsaft, alkoholfreie Getränke	Fruchtsaft (Abtrennung Fruchtfleischreste), Wein und Bier (Hefezellen sinken ab), Öl (Abtrennung von Schwebstoffen)	Milch (Rahm und Magermilch), Fruchtsäfte (Fruchtfleisch und Saft), Öl (Wasser und Feststoffe)	
Quellen	(Pouliot, Conway et al. 2014)	(Schuchmann und Schuchmann 2005, Pouliot, Conway et al. 2014, Moejes und Boxtel 2017/02/01)	(Schuchmann und Schuchmann 2005, Dziki und Dziki 2020-12-16, Kaur, Singh et al. 2022)	(Jiao, Cassano et al. 2004/08/01, Ramirez, Patel et al. 2006/09/01, I.G. Werten 2016, Moejes und Boxtel 2017/02/01)	(Pouliot, Conway et al. 2014)	(Pouliot, Conway et al. 2014)	(Pouliot, Conway et al. 2014)