



**Frankenförder
Forschungsgesellschaft mbH**

Forschung für den Mittelstand
Landwirtschaft • Veterinärmedizin • Ernährung

SchokoMa

Verfahrensentwicklung zur Herstellung einer **fettreifestabilen Schokoladenmasse** gegenüber Temperaturschwankungen während der Lagerung unter Verwendung von **allergenfreien, alternativen Emulgatoren**

Gefördert durch:



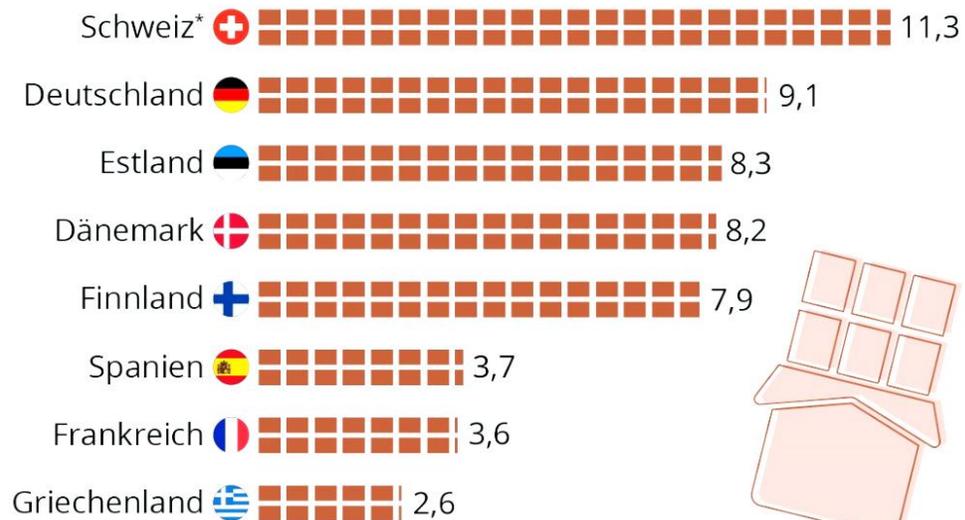
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

- Gesamtumsatz an Schokoladenprodukten in Deutschland ca. 9 Milliarden Euro
- Süßwarenbranche beherrscht rund 7% des Lebensmittelmarktes

Pro-Kopf-Konsum von Schokoladenwaren in Europa 2020 (in kg)



* Daten für das Jahr 2021
 Quellen: CAOBISCO, Chocosuisse

statista

- jährlich werden rund 1% der Schokoladenprodukte aufgrund von Fettreif reklamiert
- dadurch verursachte finanzielle Verluste von bis zu 16 Millionen Euro
- Lebensmittelverschwendung muss reduziert werden

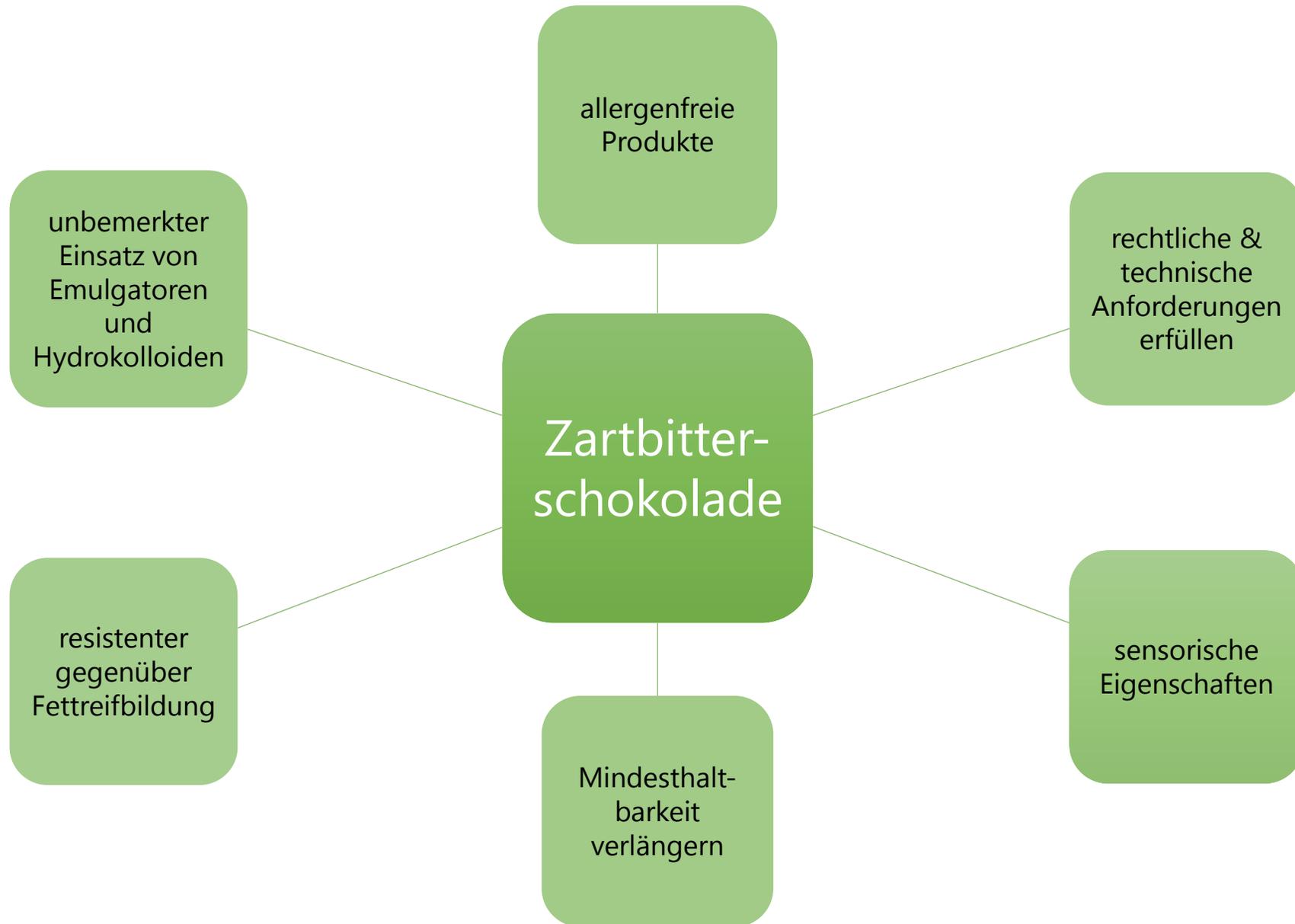


Problem - Fettreif

- unattraktives Erscheinungsbild der Schokolade
→ mit einer weißen Schicht überzogen
- Hauptgründe:
 - keine richtige Temperierung erfolgt
 - Fett diffundiert aus fetthaltiger Füllung nach außen
 - zu hohe Lagerungstemperaturen und Temperaturschwankungen
- Besonderheit der Zartbitterschokolade:
 - hoher Kakaobutteranteil → besonders fettreifanfällig
 - keine Milchfettbestandteile → daher keine minimierenden Effekte bezüglich Fettreif



Ziele



Rohstoffe - Zartbitterschokoladenmasse

- Inhaltsstoffe laut Lebensmittelrecht:
 - mind. 50% Kakaomasse
 - mind. 26% Kakaobutter
 - mind. 14% fettfreie Kakaotrockenmasse
 - höchst. 18% Zucker



Rohstoffe

- Emulgatoren:

- Soja-Lecithin
- Sonnenblumen-Lecithin
- Mono- und Diglyceride
- Sorbitan tristearat
- Polyglycerin-Polyrizinoleat
- ...

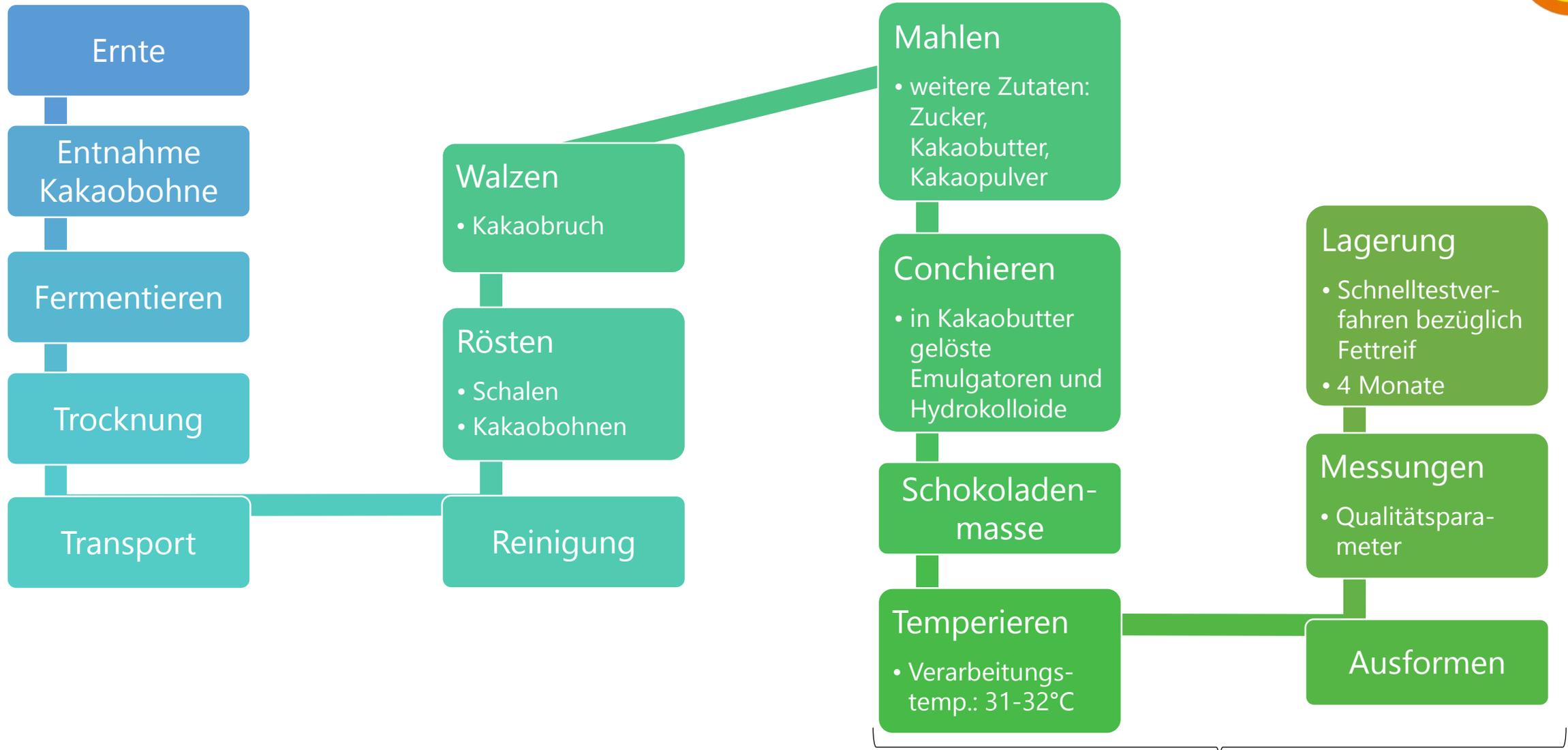
- Hydrokolloide:

- Xanthan
- Johannesbrotkernmehl
- Gellan
- Kappa Carrageenan
- Carboxymethylcellulose
-



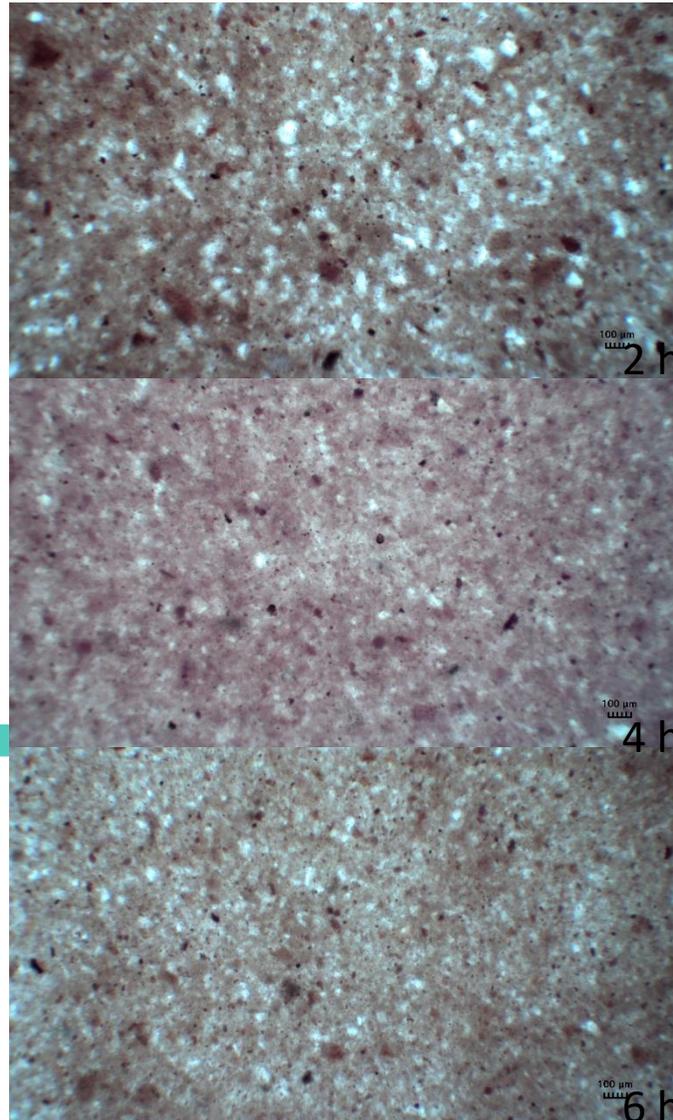


Herstellungsverfahren



Projektinhalt

Herstellungsverfahren



Mahlen

- weitere Zutaten: Zucker, Kakaobutter, Kakaopulver

Conchieren

- in Kakaobutter gelöste Emulgatoren und Hydrokolloide

Schokoladenmasse

Temperieren

- Verarbeitungstemp.: 31-32°C

Lagerung

- Schnelltestverfahren bezüglich Fettreif
- 4 Monate

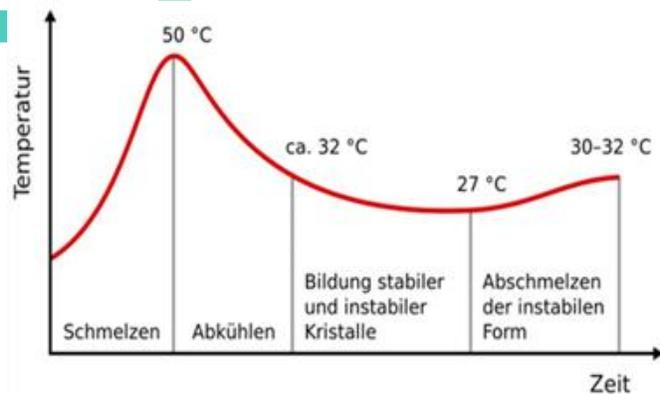
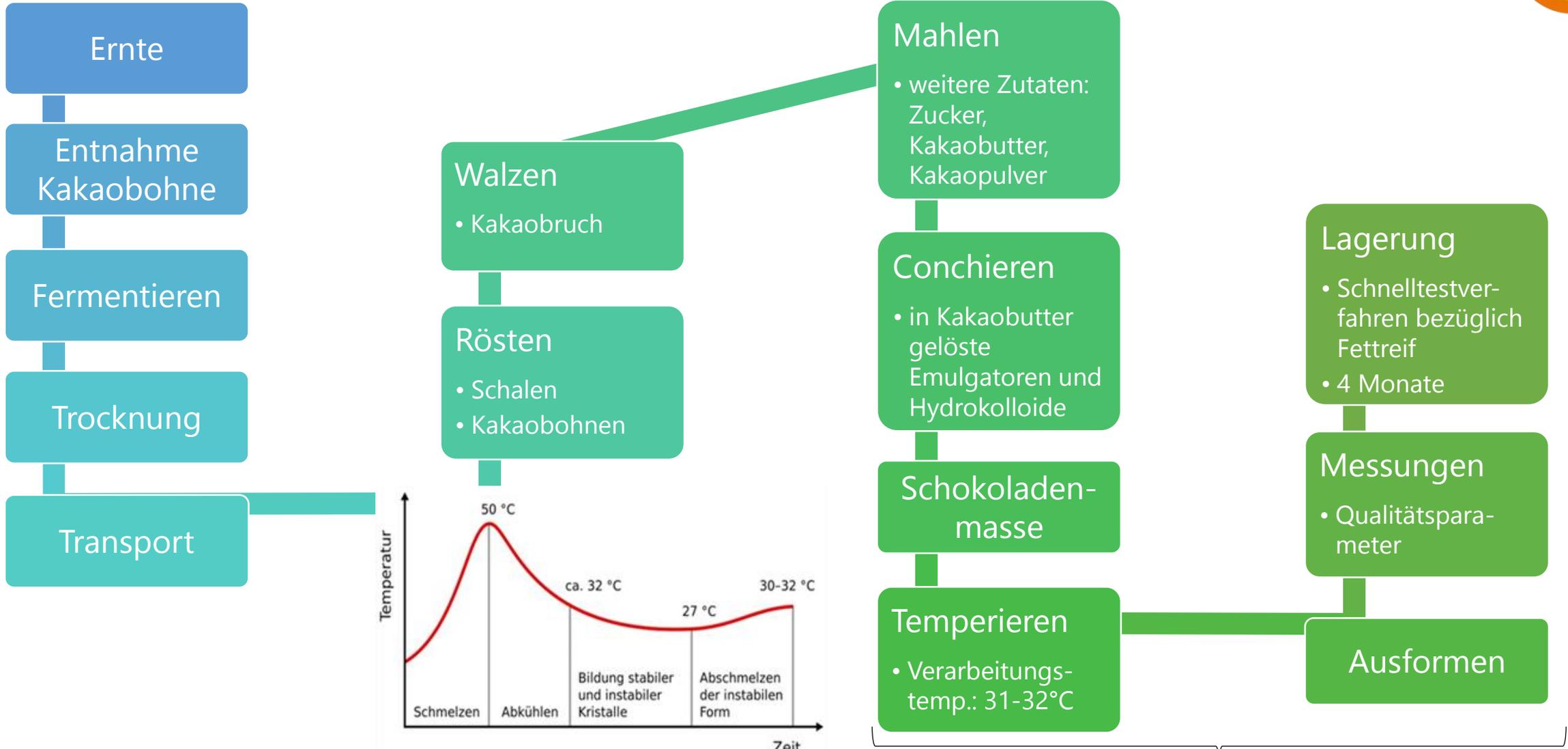
Messungen

- Qualitätsparameter

Ausformen

Projektinhalt

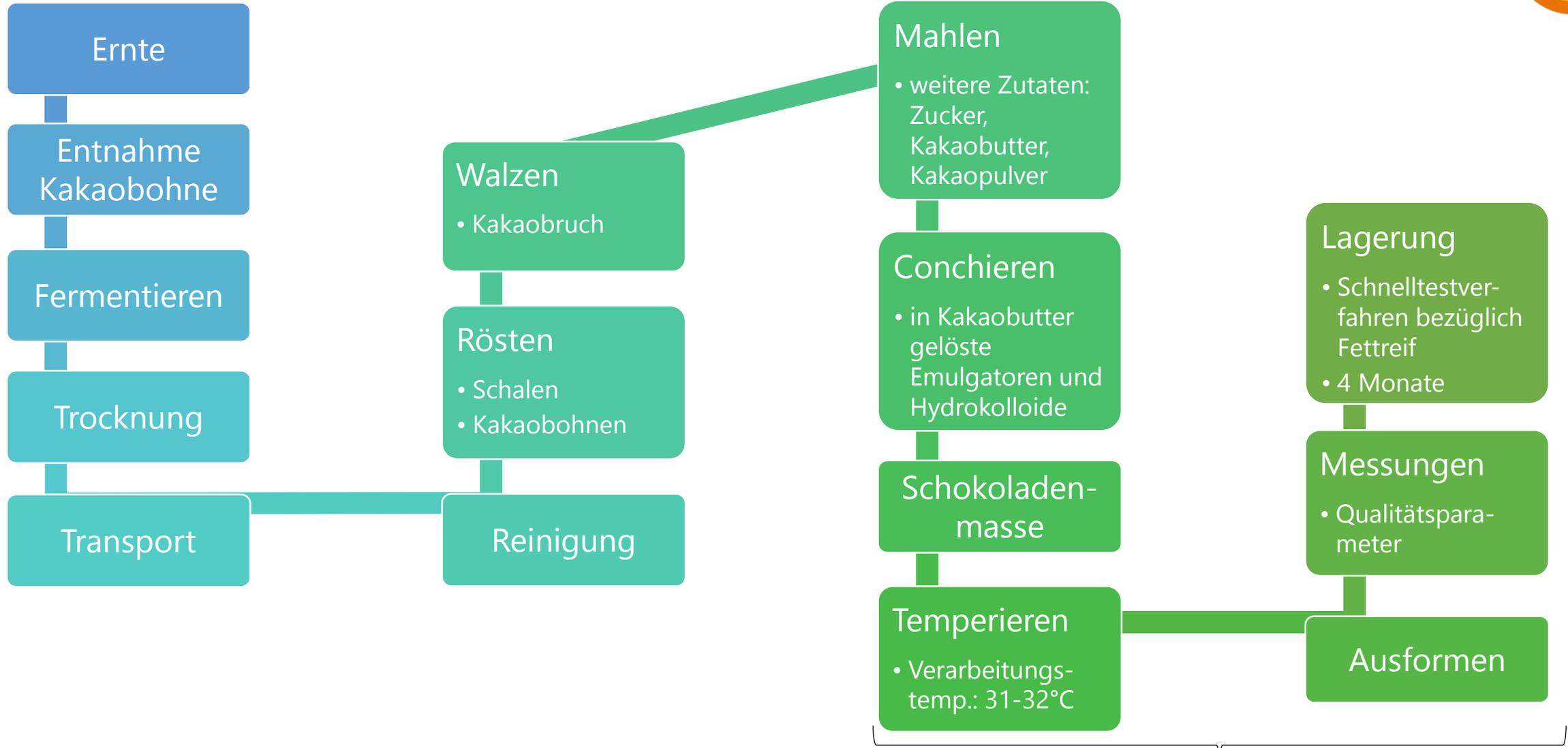
Herstellungsverfahren



Projekthalt



Herstellungsverfahren



Projektinhalt

Messungen der Qualitätsmerkmale

- Partikelgröße ($15\mu\text{m} \pm 5\mu\text{m}$ mit Mikroskop)
- Viskosität / Scherrate (bei 25, 50, 75, 100/s)
- Farbe (RGB-Farbraum)
- Textur (Druck bei 50, 100, 200bar)
- Sensorik (Optik, Glanz, Geschmack, Textur, Akustik)
- Lagerfähigkeit (über 4 Monate)



[1]



[2]



[3]



[4]



Herausforderungen während der Entwicklungsarbeit

Technische Risiken:

Maßnahmen:

keine Kristallbildung der stabilen V-Form

- Schnelltest mit Spachtel für Kontrolle
- ggf. mehrfache Temperierung

Hydrokolloide besitzen keine stabilisierenden Effekte

- Vorbehandlung (Hydratisierung) der Hydrokolloide (als Gel einarbeiten)

negative Beeinflussung der Produktqualität im Endprodukt durch Hydrokolloide

- Untersuchung verschiedener Hydrokolloide

bei optimalen Lagerbedingungen kommt es dennoch zur Fettreifausbildung

- Überwachung der Umgebungsbedingungen
- nur zuvor getestete Produkte einlagern

Emulgatordosierung für zielführende Eigenschaften des Endproduktes zu hoch

- Emulgatoren durch Hydrokolloide substituieren
- Kombination aus Emulgatoren



Entwicklung einer fettreife-
stabilen Schokoladenmasse
gegenüber Temperaturschwankungen bei der
Lagerung.

Kontakt



Silke Sorge

Lebensmitteltechnologin

Tel.: +49(0)30 2809 1934

E-Mail: sorge@frankenfoerder-fg.de



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Frankenförder Forschungsgesellschaft mbH

Geschäftsführerin:
Dipl.-Agraring. Doreen Sparborth

Potsdamer Str. 18a
14943 Luckenwalde

Wissenschaftsbereich Berlin:

Tel.: (0 3371) 402277
info@frankenfoerder-fg.de

Meeraner Str. 1
12681 Berlin
Tel.: (030)2809 1931
Fax: (030) 2809 1940

MODIFIZIERTE HEISSWASSER- UND ULTRASCHALLBEHANDLUNG VON APFELSORTEN IM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU

Dipl.-Biol. Kerstin Günther (GMBU e.V.)
25. September 2023

Bioobst Görnitz GmbH & Co. KG Coswig
GMBU e.V.



GMBU

Gesellschaft zur Förderung
von Medizin-, Bio- und
Umwelttechnologien e.V.

Projektpartner

Bioobst Görnitz GmbH & Co. KG Coswig



- Familienbetrieb seit 34 Jahren
- seit 2015 biodynamischer Obstanbau
- gehört inzwischen zu den führenden Erzeugern von Bio-Beerenobst und Sonderkulturen
- auf rund 313 ha Anbau von Äpfeln, roten und schwarzen Johannisbeeren, Stachelbeeren, Himbeeren, Quitten, Birnen
- stetige Erweiterung der Hauptkulturen durch neue, wie Hagebutten, Jochelbeeren, Erdbeeren, Heidelbeeren, Aronia
- rege obstbauliche Forschungstätigkeit

GMBU e.V., Fachsektion Photonik und Sensorik Jena



- gemeinnützige Forschungseinrichtung mit drei Fachsektionen in Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen
- besteht seit 1992
- Bindeglied zwischen angewandter Grundlagenforschung und Wirtschaft
- Innovationsschwerpunkte Jena:
 - Spektroskopie
 - optische Desinfektionsprozesse
 - Photokatalyse
 - optische Messtechnik
 - Charakterisierung von Spezialschichten

Obstbau

- Lagerfähigkeit von Äpfeln gefährdet durch das Auftreten von **Lagerfäulen**
- häufigste Verursacher von Lagerfäulen bei Äpfeln:

- *Botrytis cinerea* (Graufäule)



- *Fusarium avenaceum* (Kernhaus-Fäule)



- *Gloeosporium perennans* (Braune Bitterfäule)



- *Peltaster fructicola* (Rußfleckenkrankheit)



- *Sclerotinia sclerotiorum* (Monilia-Fäule)



- *Venturia inaequalis* (Apfelschorf)



- *Penicillium expansum* (Grün- oder Blaufäule)



Biologischer Obstbau

nach EG-Öko-Verordnung:

- *Verbot* genetisch veränderter Organismen
 - *Verbot* ionisierender Strahlung
 - *begrenzter Einsatz* von Kunstdüngern, Unkrautvernichtungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln
- möglicher Schaden 30 – 40 % des Jahresertrages
- Suche nach alternativen Nacherntemethoden zur Verbesserung der **Lagerfähigkeit** von Obst:
- Lagerung unter Schutzgas und bei niedriger Temperatur
 - Biocontrolling (Hefen, antagonistische Pilze, ätherische Öle)
 - Bestrahlung im nichtionisierenden Wellenlängenbereich (Blaulicht)
 - **Heisswasserbehandlung**
 - Ultraschall



Geschichte der Heisswasserbehandlung

- Wärmebehandlungen erstmals in den 1920er Jahren zur **Bekämpfung der Braunfäule bei Zitrusfrüchten**
- vor der Lagerung zur Kontrolle und Bekämpfung von Fäulnis
- Krankheitserreger erreichbar, die sich auf der Fruchtoberfläche oder in den obersten zwei bis drei Zellschichten unter der Schale befinden
- Induktion von Abwehrmechanismen, die das Wachstum von Krankheitserregern verhindern oder begrenzen
- Verfahren als
 - Heißwasser-Tauch-/Tauchbehandlung
 - Heißluftbehandlung, Dampfwärmebehandlung
 - kurzes Abspülen mit heißem Wasser und Bürsten
- Wirkung abhängig von
 - Behandlung und Klima vor der Ernte
 - Reifegrad bei der Ernte
 - Sorte
 - Art der Wärmebehandlung
 - Lagerbedingungen
 - Dauer der Behandlung und Temperatur
- erste wissenschaftliche Untersuchungen (Gloeosporium) 1964 in Großbritannien
- Versuch einer Standardisierung 20 Jahre später
- 1. Prototyp im Stil einer Autowaschanlage 1996 in Israel
- bis heute Hauptfokus auf der `Reinigung` der Apfeloberfläche und der Hitze-Inaktivierung der pilzlichen Schaderreger

Äpfel: Ernte, Lagerung, Sortierung



schonende Ernte per Hand



Kisten zur Lagerung



Sortieranlage



weitere Förderstrecke mit Rollen, Bürsten und Kippschalen

Auswahl Bioobstbau Görnitz: Apfelsorten nach Temperaturempfindlichkeit

(Tauchtest bei 56°C für 120 s, Auswahl nach:

- Relevanz für den biologischen Apfelanbau
- bekannter Dauer der Lagerfähigkeit
- sortentypischer Anfälligkeit gegenüber Lagerkrankheiten
- Reaktion auf die Heißwasserbehandlung)



Elstar

Der Elstar ist eine Sorte des Kulturapfels, welcher 1955 in den Niederlanden gezüchtet und erst 1972 ins Zuchtbuch eingetragen wurde. Die Züchtung aus "Golden Delicious" und "Ingrid Marie" ist die am häufigsten angebaute Apfelsorte in Deutschland. Der Elstar ist eine fein-säuerliche und saftige Apfelsorte mit weiß-gelblichen Fruchtfleisch. Seine vergleichbar resistente Schädlinganfälligkeit zeichnen diese Apfelsorte im Obstbau aus. Neben dem Frischverzehr seiner Frucht eignet sich der Elstar auch sehr gut für Saft, Apfelmus, zum Backen, aber auch als Dörrfrucht. Seine fruchtigen Noten lassen ein wenig an Birne mit Anleihen von Zitrusfrüchten und Honig denken.



Pinova

Der Pinova ist eine Kreuzung aus den Sorten Clivia und Golden Delicious. Im Rheinland hat es der Pinova von 1998 bis 2001 zum Apfel des Jahres gebracht und steht seit 1996 unter Sortenschutz. Die kleine bis mittelgroße Frucht des Pinova ist in der Grundfarbe gelb, die Deckfarbe geht in ein leuchtendes orangerot. Er besitzt ein süß-säuerliches, grobzelliges, aromatisch bis würziges Fruchtfleisch und ist neben dem Verzehr auch optimal zum Kochen und Backen geeignet. Seine pflückreife ist in der Regel erst Mitte Oktober erreicht. Ab November hat er seinen Genuss voll entfaltet. Gekühlt lässt sich der Apfel bis etwa März gelagert werden.



Topaz

Der Topaz ist eine europäische Apfelsorte, welche erstmals 1984 in Tschechien gezüchtet worden ist. Er gehört zur Gruppe der Winteräpfel. Seine Frucht ist mittelgroß, meist gelb, weist aber häufig auch große rot gestreifte Farbanteile auf. Als saftiger und aromatisch leicht süß-säuerlicher Apfel ist sein Fruchtfleisch eher fest, knackig und feinzellig. Die Farbe weist von Natur aus eine leicht wachsige bis speckige Oberflächenbeschaffenheit auf. Ab Mitte Oktober ist der Topaz pflückreif und für den Verzehr geeignet.

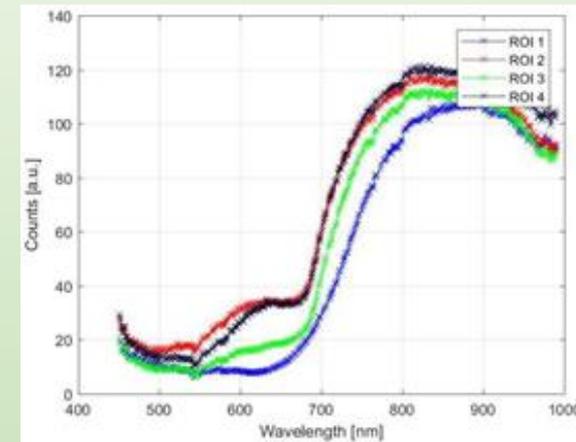
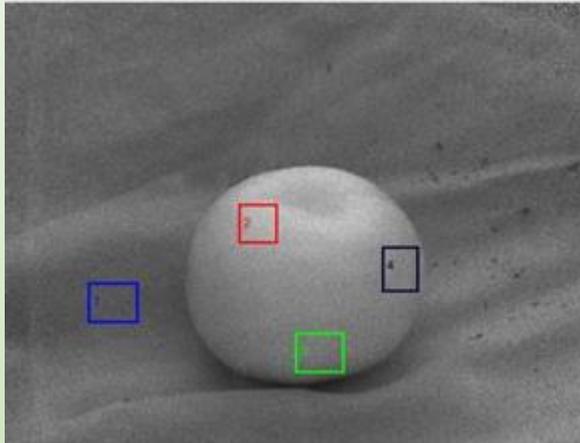
<https://www.obsthoertle.de/apfellexikon>

Sensorik

(IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen Lichtenau)

Beleuchtungsmodul + akusto-optische Hyperspektralkamera (450 – 990 nm)

→ Spektren der Apfeloberfläche

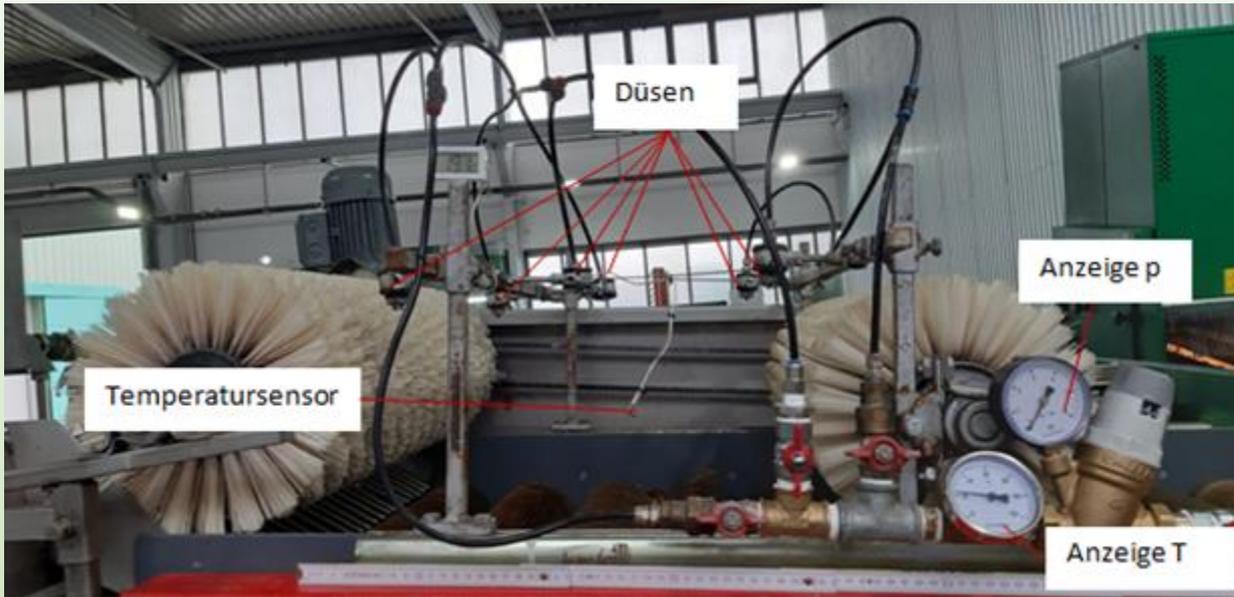


→ Ermittlung von Wellenlängenbereichen zur Apfelcharakterisierung mittels

Quotientenbildung (z.B. Normalized Difference Vegetation Index $NDVI = (R_{840 \text{ nm}} - R_{660 \text{ nm}}) / (R_{840 \text{ nm}} + R_{660 \text{ nm}})$)

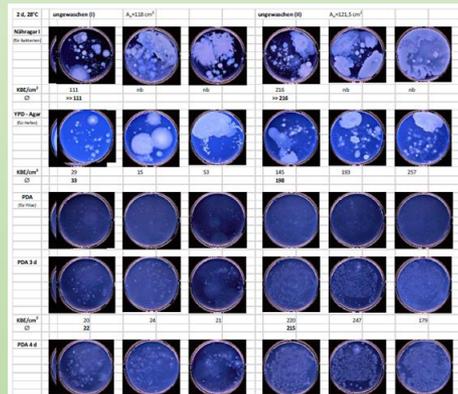
→ Reifegrad, Beschädigungen, Verschmutzung, Fäule, Inhaltsstoffe (?)

Heisswasserdusche - in Sortieranlage integrierter Aufbau (Bioobst Görnitz)



Begleitende mikrobiologische und chemische Analytik zur Qualitätskontrolle (GMBU e.V. Jena)

Mikrobiologie



→ pilzliche Mikroorganismen auf der Apfeloberfläche [KBE/cm²]

GC/MS



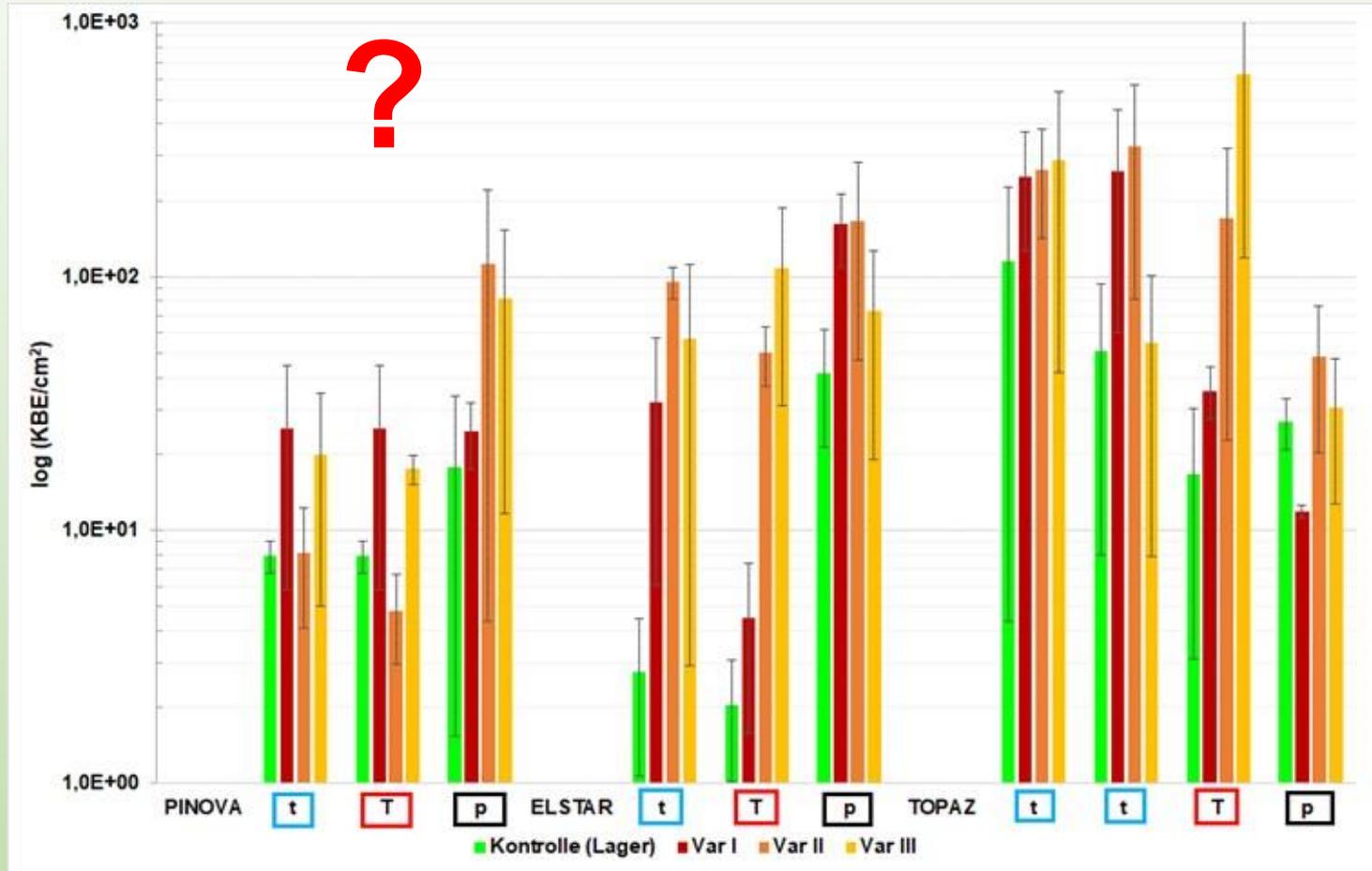
→ Polyphenole, Aromastoffe [mg/l]

Parametervariation Heisswasserdusche

Parametereinstellung nach Literaturwerten für ausgewählte Apfelsorten:

Einwirkzeit [s]	Wassertemperatur [°C]	Wasserdruck [bar]
60	51	2
120	53	3
180	55	4

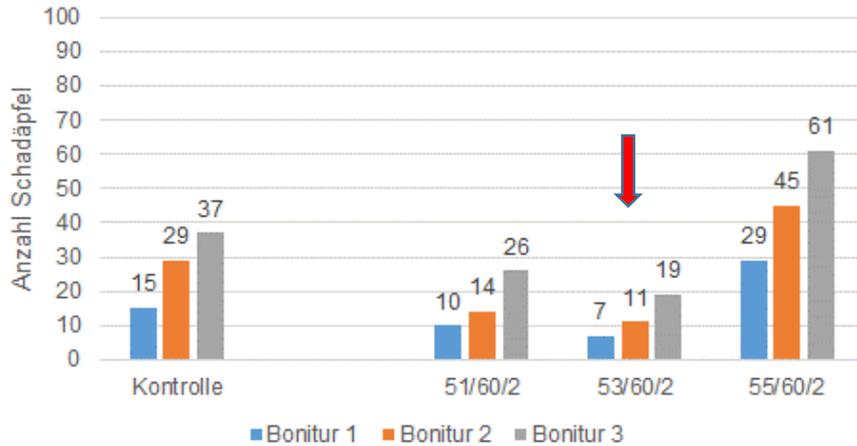
Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen der Apfeloberfläche



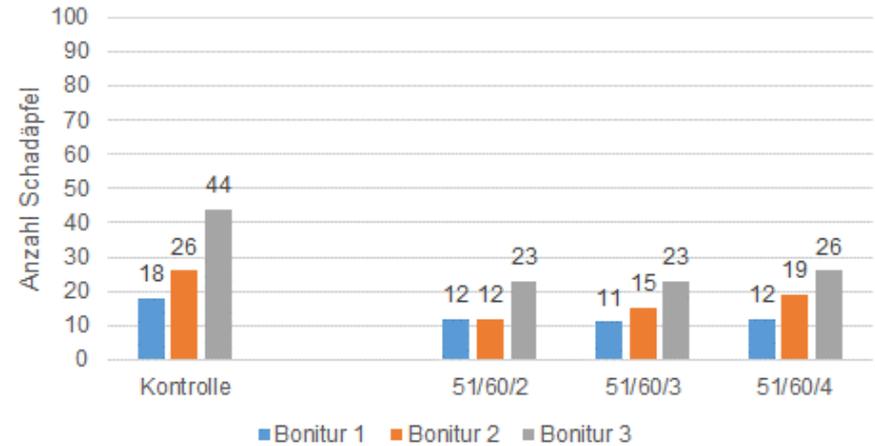
: Heisswasser-Sprühverfahren Apfel: **Variante t:** 60, 120, 180 s bei 51°C, 2 bar
Variante T: 51, 53, 55°C bei 60s, 2 bar
Variante p: 2, 3, 4 bar bei 60s, 51°C

Ergebnisse der Bonituren (Gesamtschau alle Sorten)

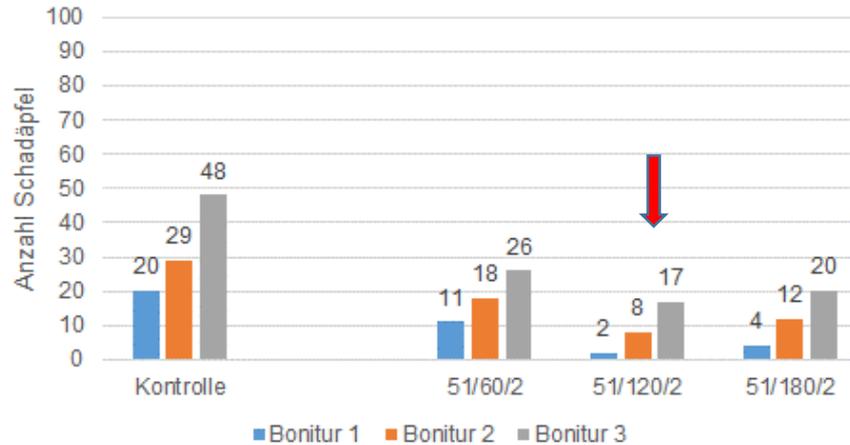
T variiert



p variiert



t variiert



Mikrobiologische Untersuchungen an Oberflächen, mit denen Äpfel während der Behandlung in Berührung kommen

Kontrollabstrich Trockenrolle



Kontrollabstriche Transportbürsten unter Wasserdüsen



Wasserprobe aus Kaltwassertank
(6,09E+03 KBE/ml)

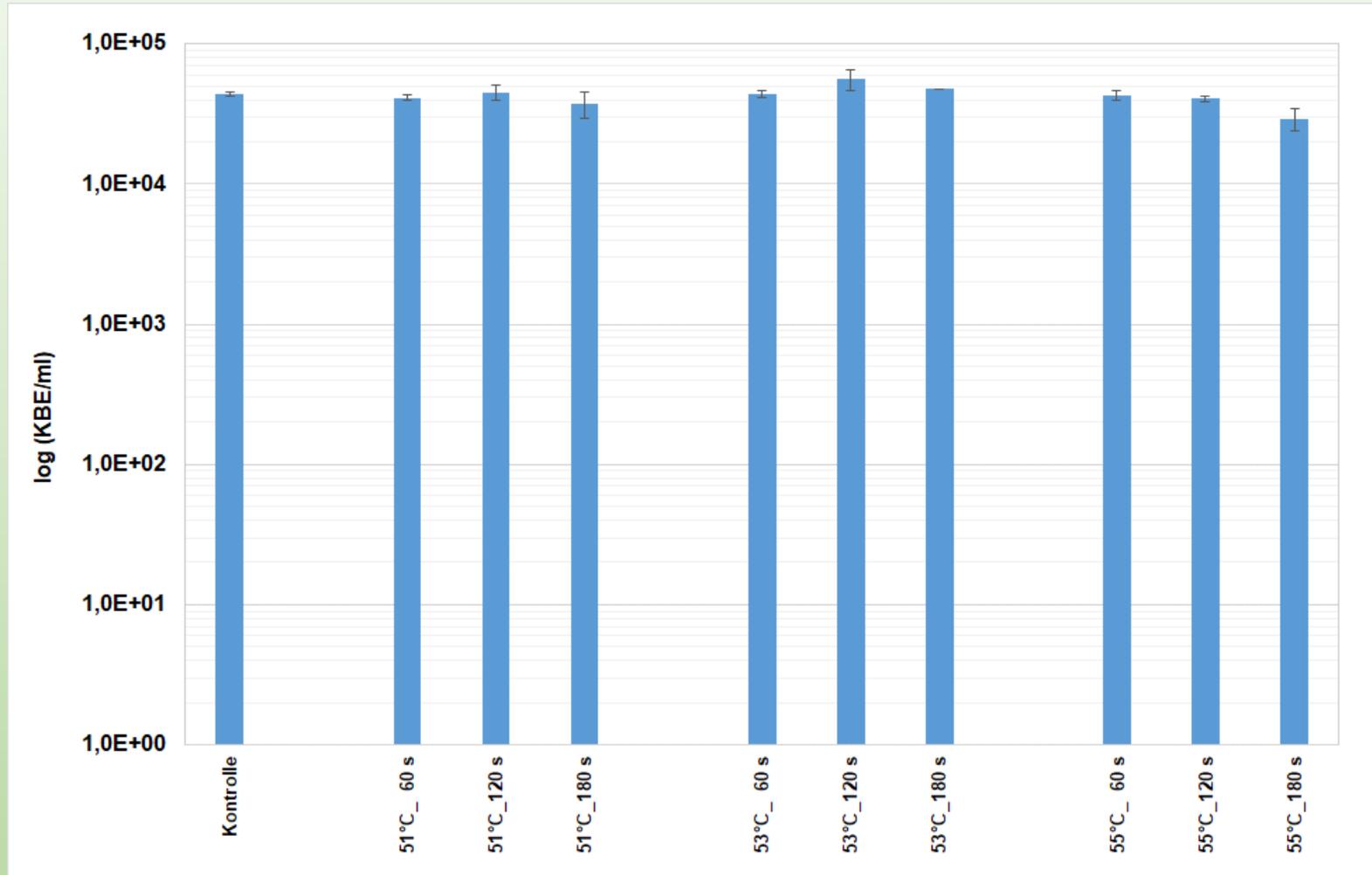


- keine hygienisierte Umgebung
- Apfeloberflächen nicht keimfrei

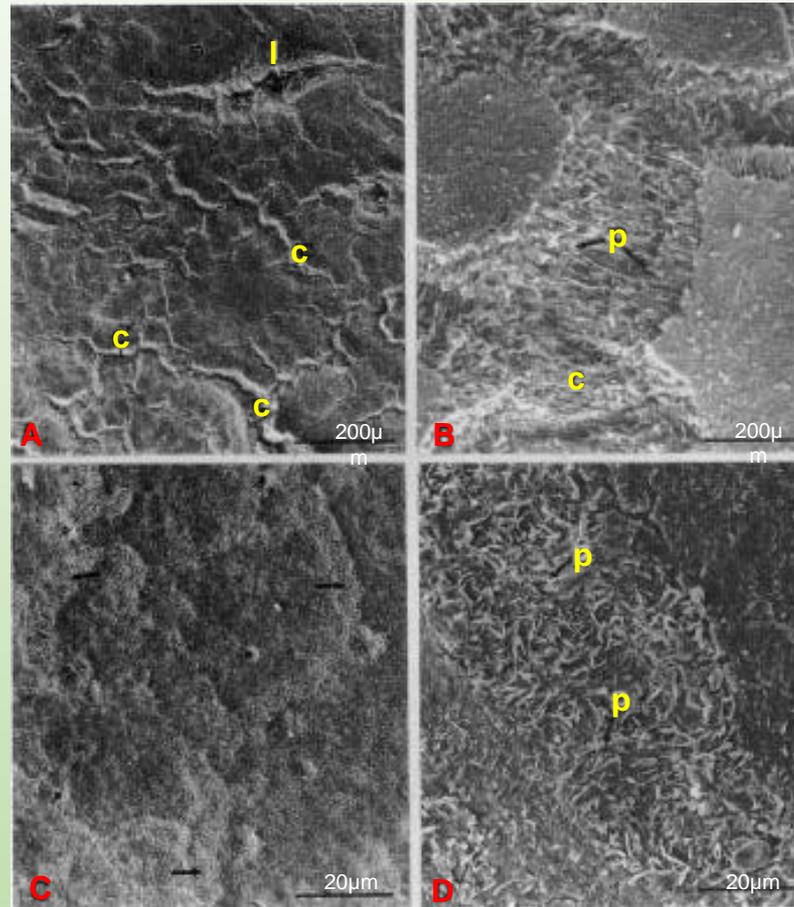
Heisswasserbehandlung wirkt trotzdem !

Wirkmechanismus Temperatur-Inaktivierung ?

Untersuchung der Mikroorganismen der Apfeloberfläche im Thermomixer



Wirkung einer Heissluftbehandlung auf die kutikuläre Wachsschicht von Äpfeln



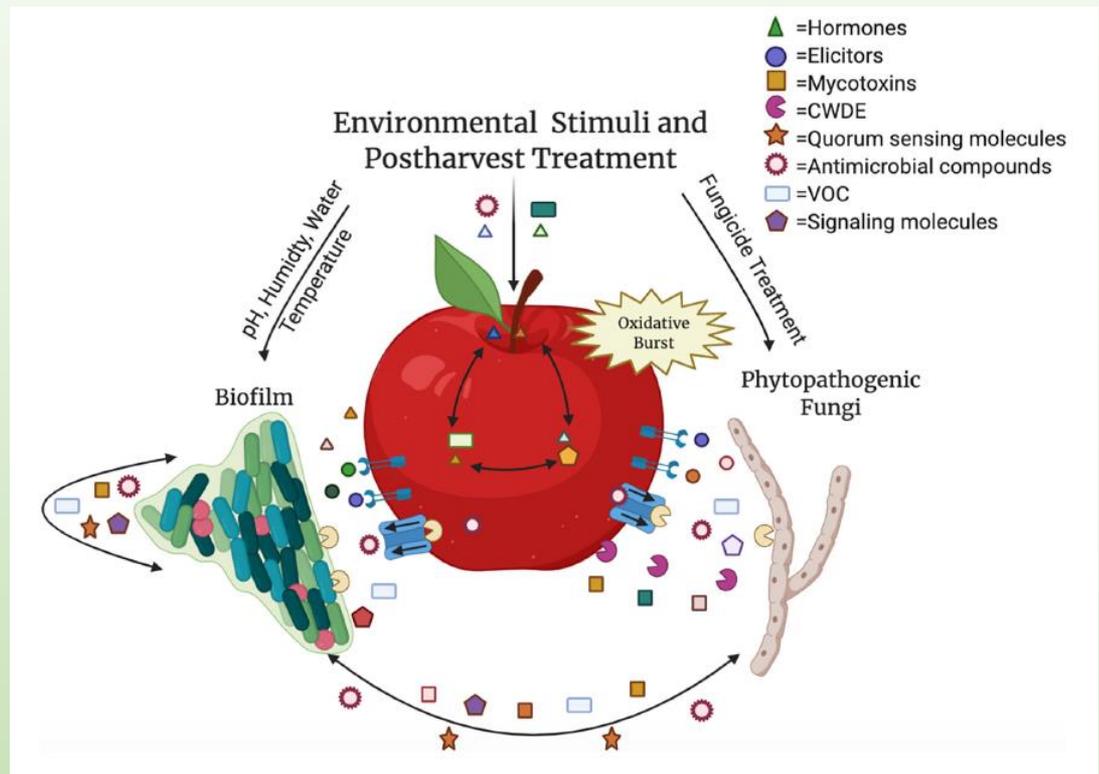
Epikutikuläres Wachs der Apfelfrucht „Golden Delicious“, untersucht mit einem Niedrigtemperatur-Scanning-Elektronenmikroskop: A und B nicht erhitzte Früchte, Oberfläche zeigt tiefe Risse (c), tiefer und breiter um die Lentizellen (l). C und D wärmebehandelte Früchte, Oberfläche glatter, keine tiefen Risse, dafür senkrecht orientierte Wachsplättchen (p) anstelle der Risse der nicht erhitzten Frucht.

S. Roy et al.: Heat Treatment Affects Epicuticular Wax Structure and Postharvest Calcium Uptake in 'Golden Delicious' Apples Hortscience, Vol. 29(9), 1056–1058.1994

Wirkung einer Heissluftbehandlung auf die Karposphäre von Äpfeln

Hitzeschock

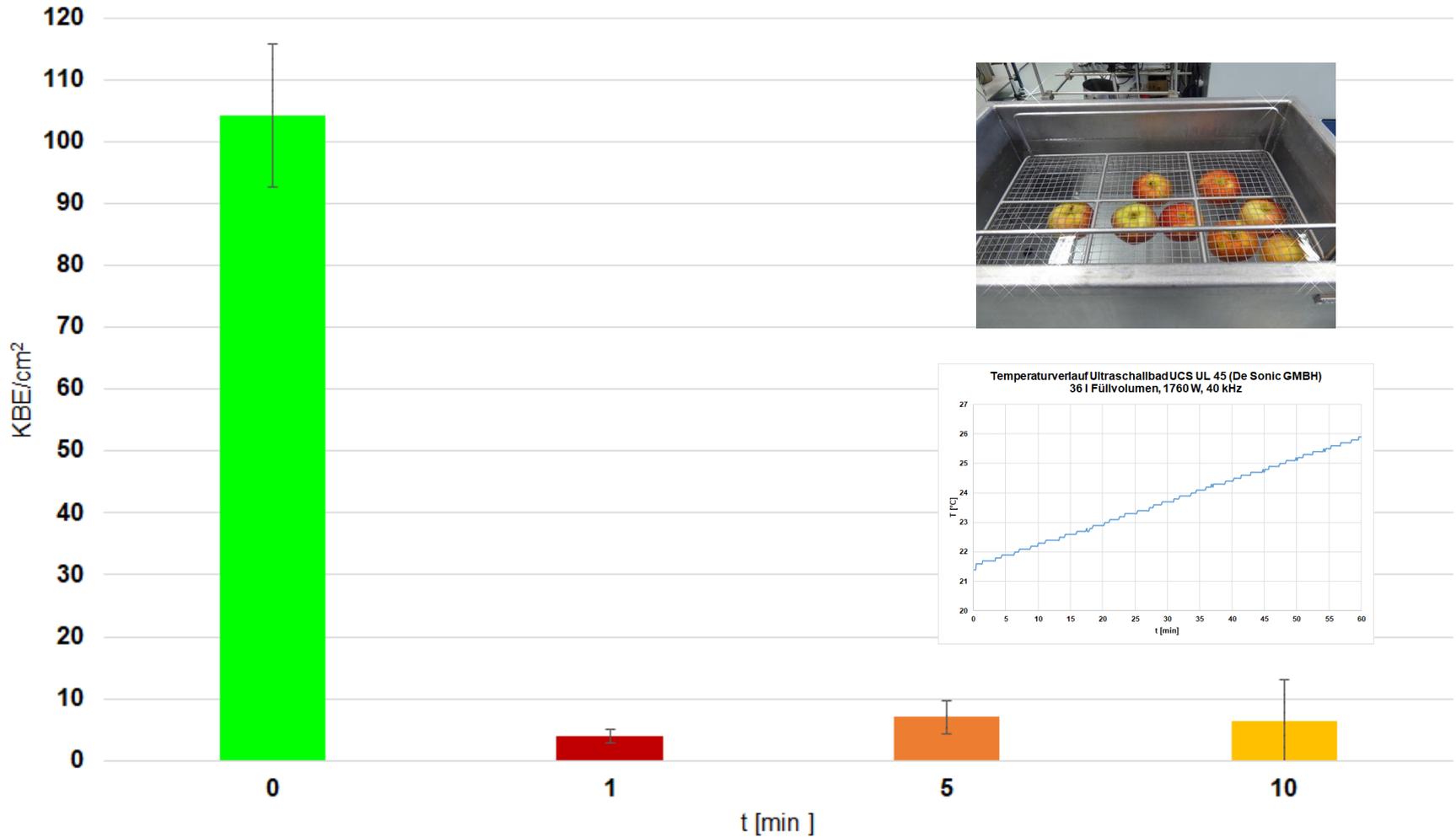
→ Kaskade von Reaktionen



Die **Beziehung** zwischen **Wirt**, **Pathogen** und **Biofilm** umfasst mehrere Komponenten. **Hormone**, **flüchtige organische Verbindungen (VOC)** und **Signalmoleküle** wie Ethylen, Gibberellin, Salicylsäure, Jasmonsäure und Rassinosteroide werden **durch die Frucht verlagert** sowie **von Mikroben produziert** und bei Kontrollbemühungen nach der Ernte verwendet. **Mykotoxine** wie Aflatoxin, Patulin und Alternariol werden **von phytopathogenen Pilzen produziert**, **Quorum-Sensing-Moleküle** (Acyl-Homoserin-Lactone und Autoinducer-Peptide) **von biofilmbildenden Mikroben ausgeschieden**. **Elicitoren** werden **von der Frucht als Reaktion auf Krankheitserreger erkannt**, was zu einem **oxidativen Ausbruch** führt. Sowohl **pflanzliche** als auch **mikrobielle zellwandabbauende Enzyme (CWDE)** und zusätzliche **antimikrobielle Verbindungen** werden **freigesetzt**, um die Zusammensetzung der umgebenden Arten zu manipulieren. Diese Moleküle und abiotischen Faktoren während der Lagerung nach der Ernte können die Virulenz oder Krankheitsanfälligkeit, das Wachstum und die Entwicklung aller interagierenden Organismen in der Karposphäre beeinflussen. Die Farbvielfalt innerhalb der Molekülkategorien repräsentiert die Variabilität innerhalb der Gruppierung, z. B. mehrere Hormone, die in der Wechselwirkung vorhanden sind. (H.P. Bartholomew et al. 2021)

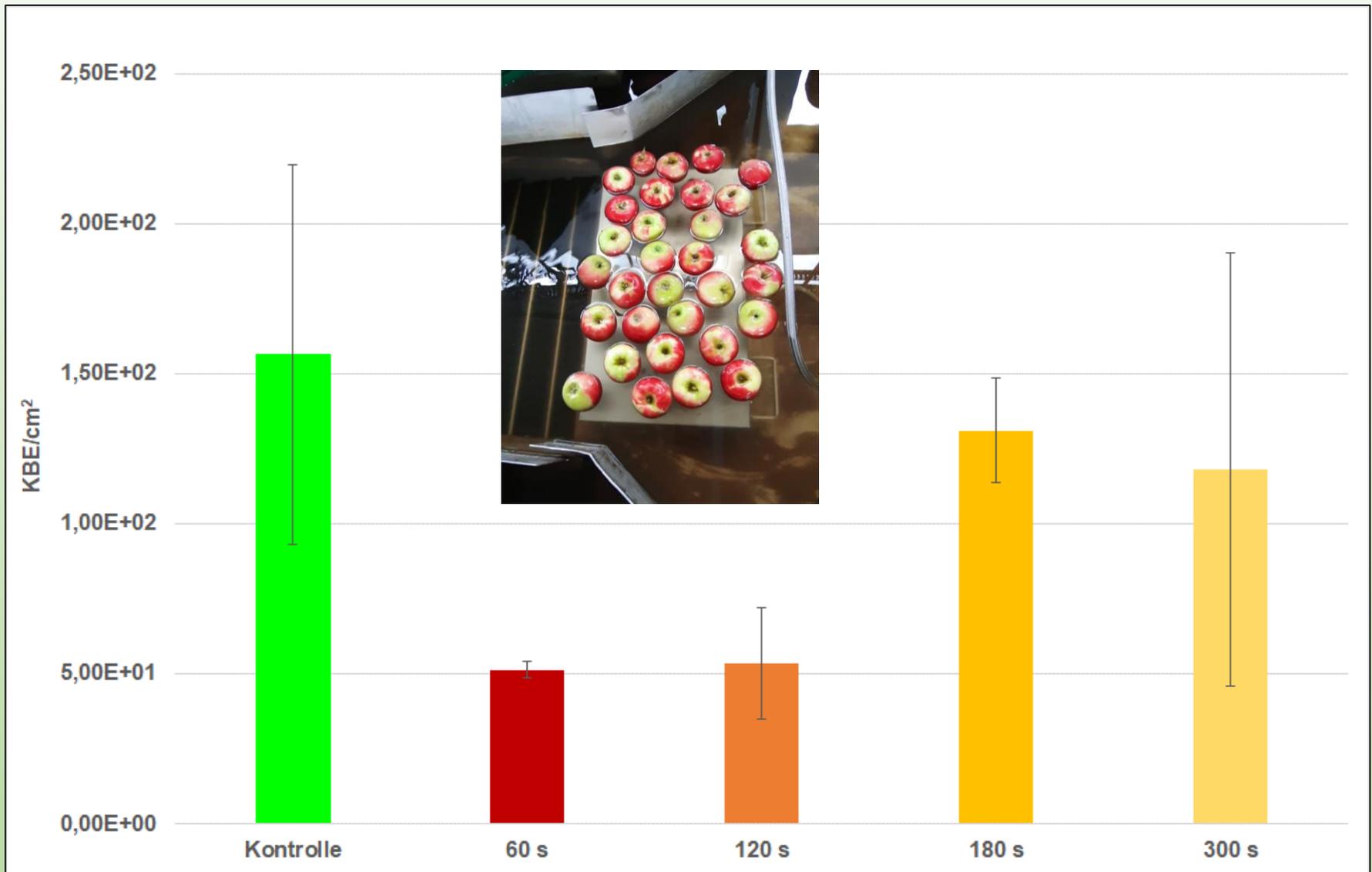
Optimierung zur Ultraschallbehandlung im Ultraschallbad (Labormaßstab)

Ultraschallbehandlung 1760 W, 40 kHz, 36 l Leitungswasser, 30 min entgast,
Apfelabstand zu US-Schwingern max. 10 cm



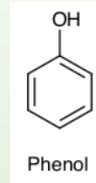
Ultraschallbehandlung in Sortiermaschine Bioobst Görnitz

(Bild: Äpfel über Ultraschallschwinger)

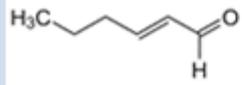
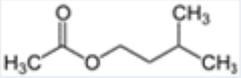
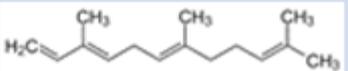


Apfel-Qualitätskontrolle anhand des Gehaltes an Polyphenolen und ausgewählten Aromastoffen

Polyphenole: natürliche sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe mit zwei oder mehreren phenolischen Gruppen



Aromastoffe:

Aromastoff	Geschmack	Formel, Funktion
2-Hexenal (Aldehyd)	Grün-Note	entsteht erst beim Zerkleinern aus Fettsäuren 
1-Hexanol (primärer Alkohol)	süßlich	antifungal, antibakteriell, Abschreckung Fressfeinde 
Methylbutylacetat (Ester)	fruchtig - Birne - Banane	Alarmpheromon der Bienen 
Hexyl-Acetat (Ester)	süßlich-birnenartig	ähnlich 1-Hexanol 
α-Farnesen (Terpen)	Grüner-Apfel-Aroma	Schädlingsabwehr, bei Luftoxidation Zelltod → braune Stellen 

Auswertung für Heisswasserbehandlung

für aussagekräftige *sortenspezifische* Auswertung:

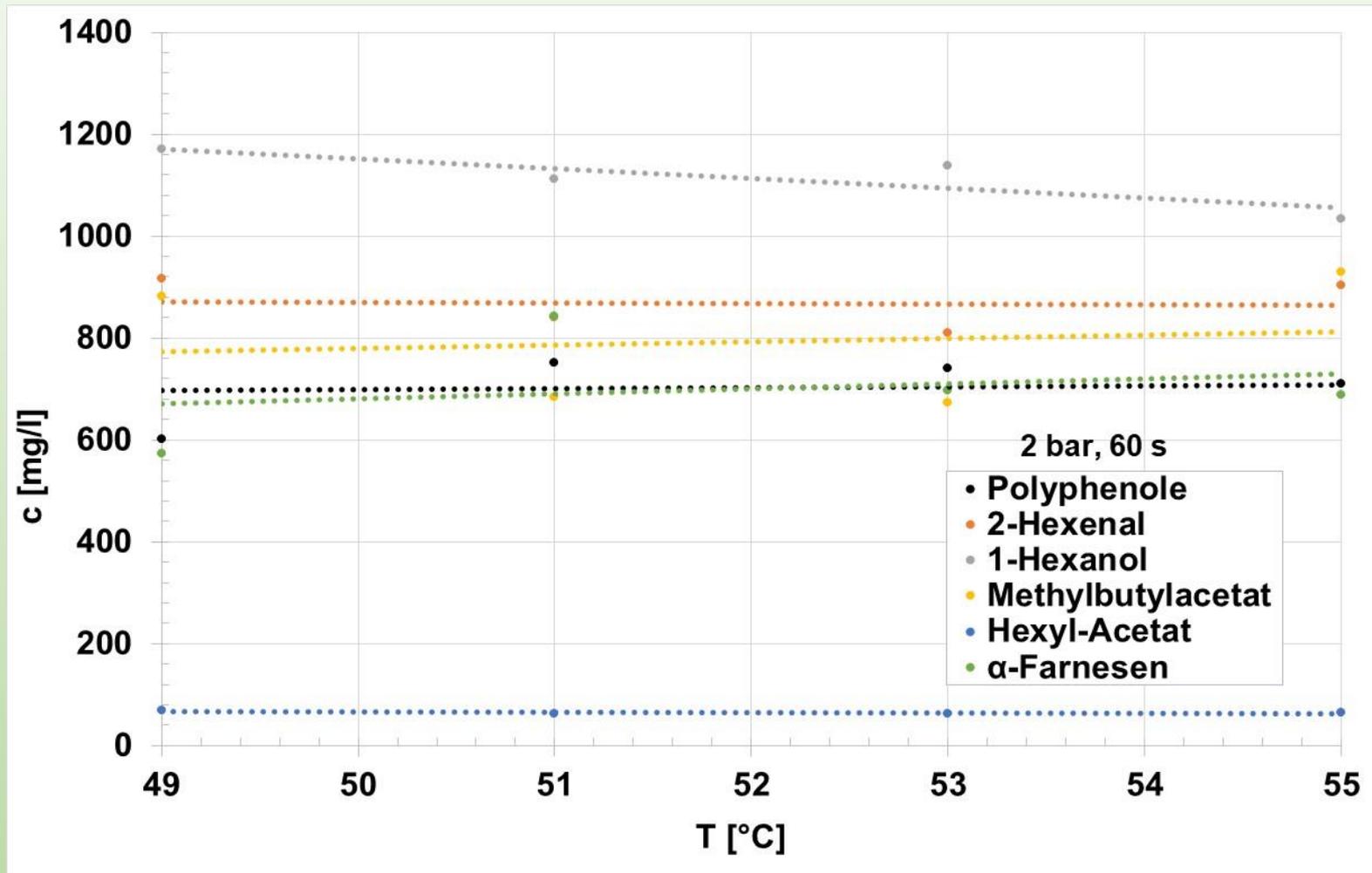
- Probenanzahl zu gering
- starke natürliche Schwankungen der Inhaltsstoffe

aber: alle untersuchten Verbindungen bei den verschiedenen Apfelsorten in sehr ähnlicher Matrix

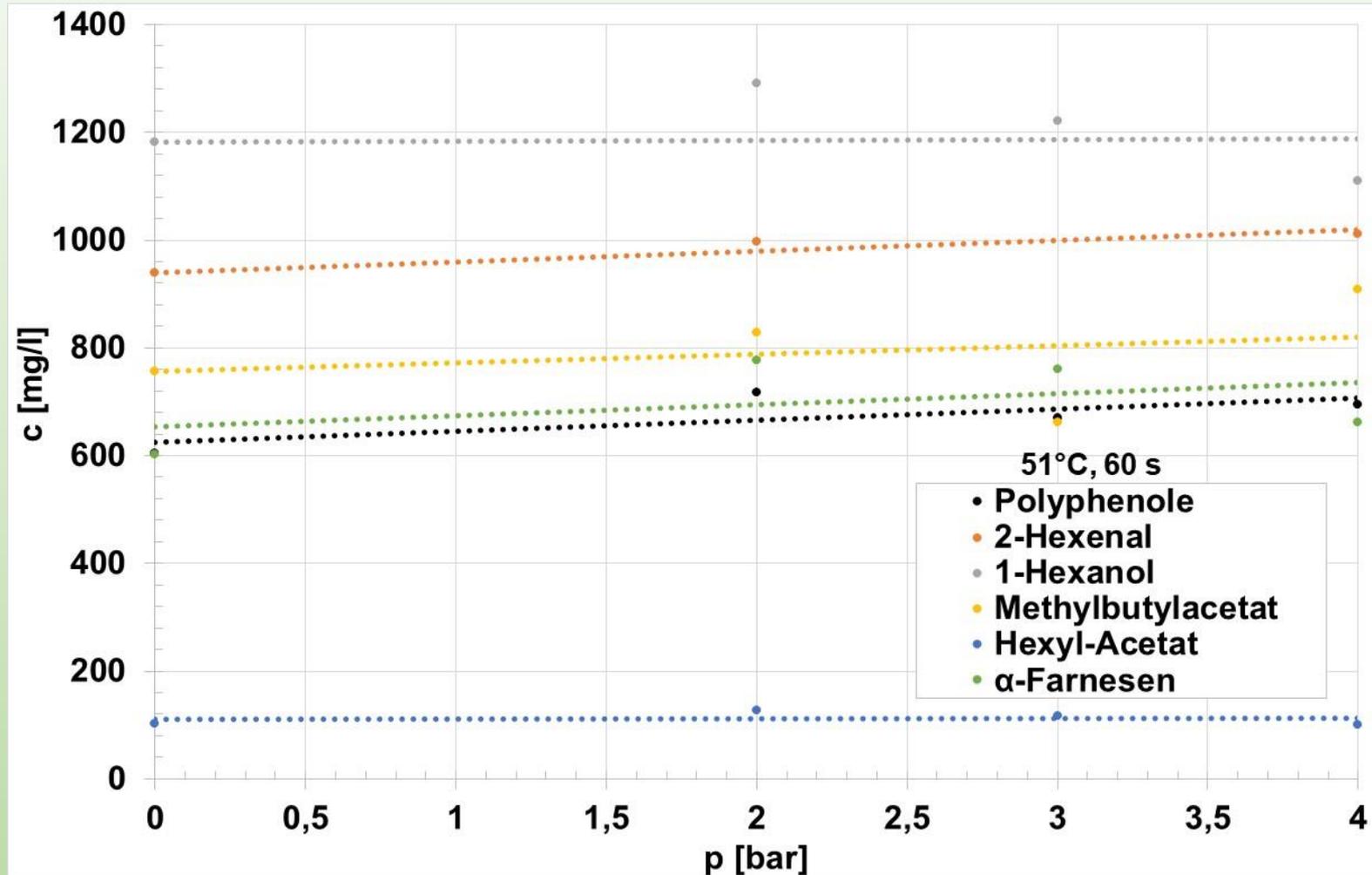
→ Behandlung sollte unabhängig von der Ausgangskonzentration der Stoffe ähnliche Wirkung haben

→ Ergebnisse für die Heisswasserbehandlung *sortenübergreifend* ausgewertet

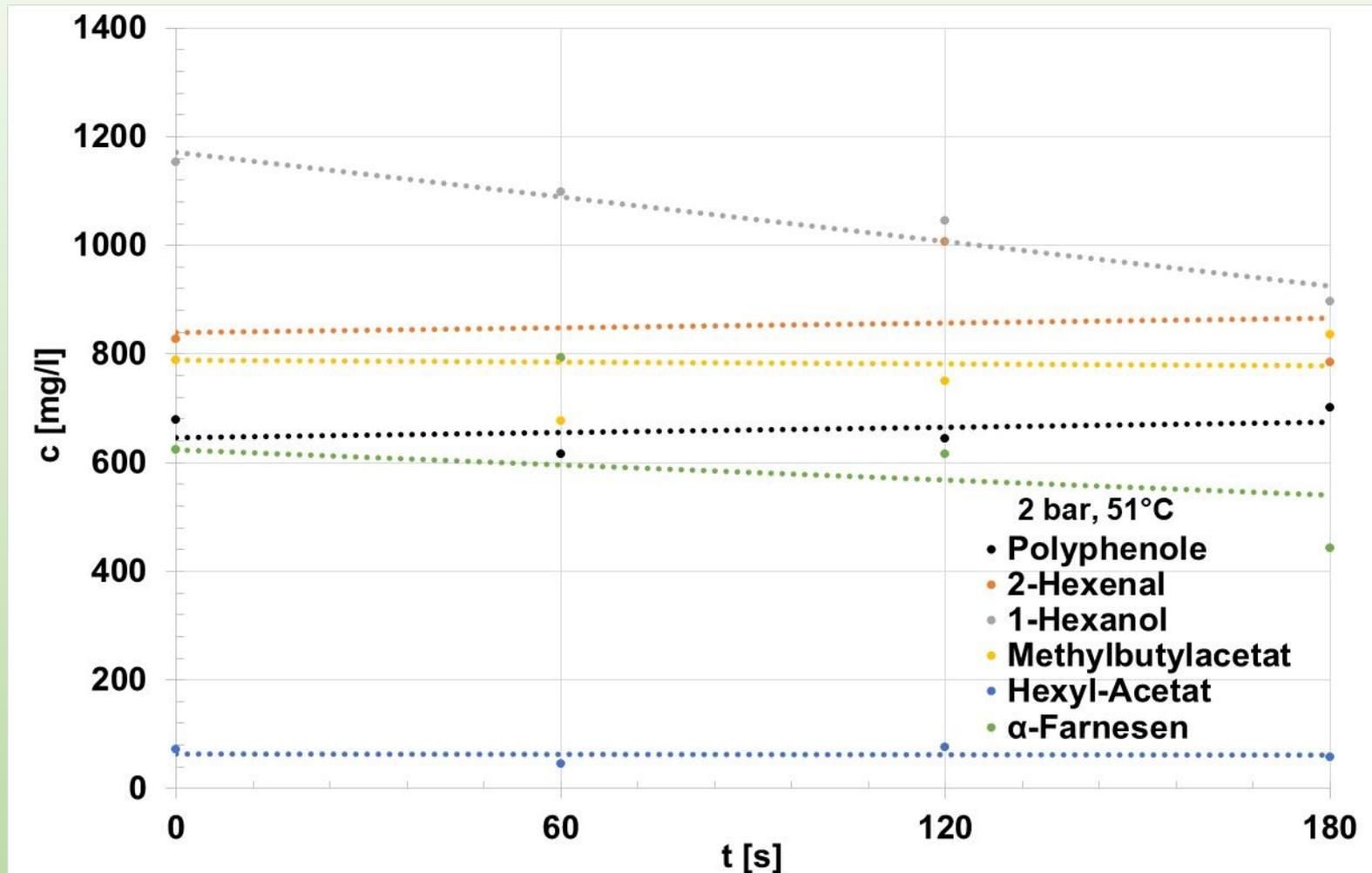
Polyphenole und Aromastoffe bei Heisswasserbehandlung Abhängigkeit von der Temperatur



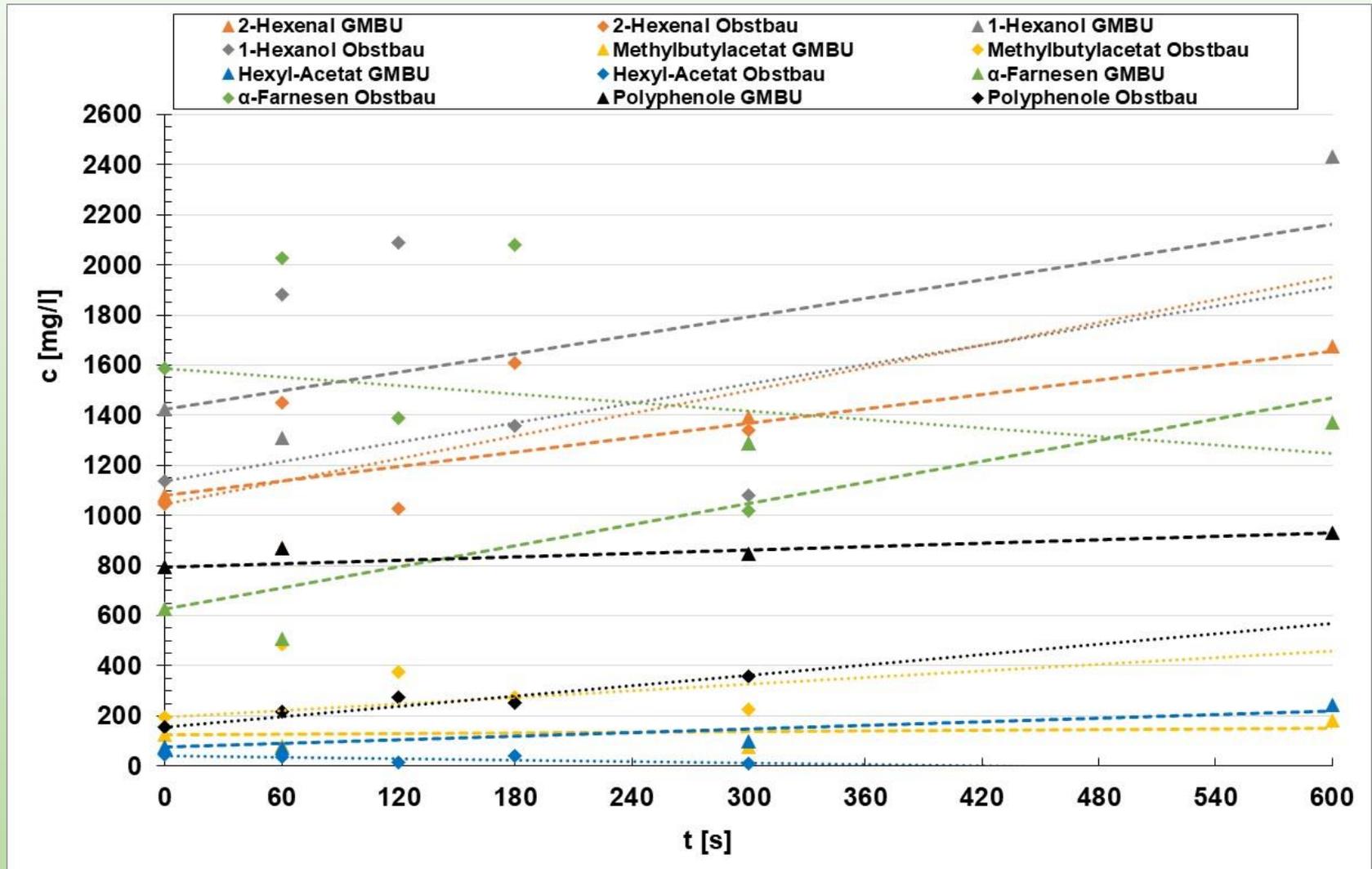
Polyphenole und Aromastoffe bei Heisswasserbehandlung Abhängigkeit vom Wasserdruck



Polyphenole und Aromastoffe bei Heisswasserbehandlung Abhängigkeit von der Einwirkzeit

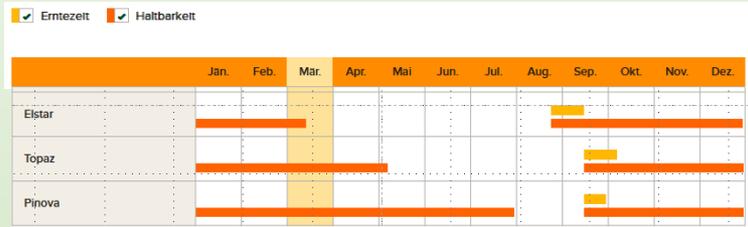


Polyphenole und Aromastoffe bei Ultraschallbehandlung (Labor/Praxis)



Methodische Probleme bei der Erstellung der Datenbasis für eine adäquate Bewertung der Ergebnisse

- zu geringe Anzahl (max. 25 Äpfel für Bonitur)
- durch Zufallsentnahme unterschiedlichste Größen und Farben pro Versuchsreihe innerhalb einer Apfelsorte
- große natürliche Varianz schon innerhalb der Kontrollgruppe

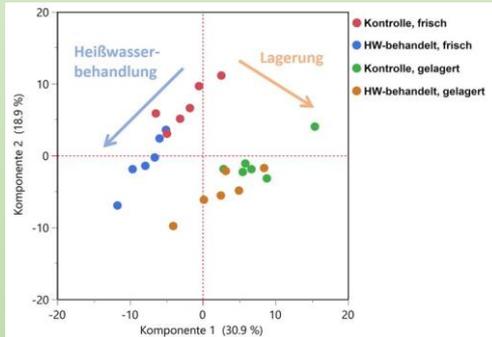


(<https://www.krautundrueben.de/apfelsorten-erntezeit-eigenschaften-haltbarkeit>)

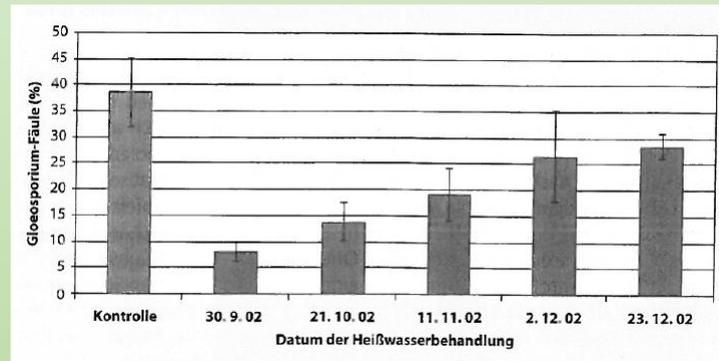
Sekundäre Inhaltsstoffe und antioxidatives Potential		
Polyphenol	Gehalt in mg/kg Frischfrucht	
	Tafelsorten	Mostsorten
Hydroxyzimtsäurederivate		
5-Kaffeoylchinasäure	4 - 385	108 - 1195
5-p-Cumaroylchinasäure	Spuren - 34	20 - 176
p-Cumaroylglucose	n. b.	1 - 19
Dihydrochalkone		
Phloretin-2'-O-glucosid	1 - 158	15 - 102
Phloretin-2'-O-xyloglucosid	1 - 230	10 - 98
Flavan-3-ole		
(+)-Catechin	1 - 27	Spuren - 154
(-)-Epicatechin	5 - 129	Spuren - 1410
Procyanidin B1	39 - 162	2 - 18
Procyanidin B2	6 - 134	32 - 143
polymere Procyanidine	bis zu 3240	515 - 4731
Flavonole		
Quercetin-3-O-galactosid	2 - 39	2 - 22
Quercetin-3-O-xylosid	2 - 11	3 - 12
Quercetin-3-O-rhamnosid	1 - 19	7 - 21

Beispiel Polyphenole (Höhne 2018)

- lange Bearbeitungszeiträume → für jede Versuchsreihe andere Lagerzeiten → veränderte Inhaltsstoffe



(Trierweiler 2012)



(Trierweiler 2023)

- Wirkung der Heisswasserbehandlung gegen Ende der Lagerzeit nicht mehr vorhanden

Ergebnisse und Ausblick

- Verlängerung der Lagerzeit von Äpfeln durch die *nichtchemische Behandlung mit Heisswasser und/oder Ultraschall* prinzipiell und ohne Qualitätsverlust *realisierbar*
- Wasserdüsen- und Ultraschallsysteme problemlos in nahezu jede Sortieranlage integrierbar
- Energieaufwand für das Erhitzen des Wassers für die Besprühung um ein vielfaches geringer als das Erhitzen des Wassers in großen Wasserbecken
- *Sortenspezifische Empfehlung* für die Parameter der Heisswasserbehandlung konnte *nicht erarbeitet* werden (Wegen der Komplexität der Problematik und der großen natürlichen Schwankungsbreite der Apfelqualität reichten die Anzahl der bearbeiteten Proben und der Bearbeitungszeitraum dafür nicht aus.)
- im Labor ermittelte Parameter für eine wirksame *Ultraschallbehandlung* relativ problemlos für die Praxis umsetzbar (*180 s bei 50 kHz im Abstand von 10 cm zur Ultraschallquelle*)

Welches der beiden Verfahren oder eventuell eine Verfahrenskombination sich in die betriebliche Praxis überführen lassen, müssen energie- und kostentechnische Erhebungen beim Projektpartner zeigen.





**Vorsicht !!! Gefälschte APPLE
Watch im Umlauf !**



GMBU

Gesellschaft zur Förderung
von Medizin-, Bio- und
Umwelttechnologien e.V.

Ausgewählte Literatur zum Thema

- **H.P. Bartholomew, M. Bradshaw, W.M. Jurick, J.M. Fonseca:** The Good, the Bad, and the Ugly: Mycotoxin Production During Postharvest Decay and Their Influence on Tritrophic Host–Pathogen–Microbe Interactions, *Frontiers in Microbiology*, Vol. 12, Art. 611881, 2021
- **M. Dilger:** Charakterisierung von keimungsinduzierten Genen pilzlicher Phytopathogene für ein targetspezifisches Fungiziddesign. Diss. TU München, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 2005
- **C. Kastner:** Regulation der Sporenkeimung und des Sekundärmetabolismus durch Licht in *Aspergillus nidulans*, Diss. Karlsruher Institut für Technologie 2010
- **V.V. Zeisler:** Die pflanzliche Kutikula, Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn 2013
- **K. Einschütz:** Wirksamkeitsprüfung verschiedener Verfahren zur Verminderung der Keimbelastung auf Handgeräten der Fleischgewinnung, Diss. FU Berlin 2004
- **N. Ludwig:** Penetrationskompetenz pflanzenpathogener Pilze, Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 2012
- **P. Trivedi, N. Nguyen, A.L. Hykkerud, H.M. Häggman, I. Martinussen, L. Jaakola, K. Karppinen:** Developmental and environmental regulation of cuticular wax biosynthesis in fleshy fruits, *Frontiers in Plant Science* 10:431, 2019
- **Y. Yang, B. Zhou, J. Zhang, C. Wang, C. Liu, Y. Liu, X. Zhu, X. Ren:** Relationships between cuticular waxes and skin greasiness of apples during storage, *Postharvest Biology and Technology* 131 (2017) 55–67
- **F. Li, D. Min, C. Ren, L. Dong, P. Shu, X. Cui, X. Zhang:** Ethylene altered fruit cuticular wax, the expression of cuticular wax synthesis-related genes and fruit quality during cold storage of apple (*Malus domestica* Borkh. c.v. Starkrimson) fruit, *Postharvest Biology and Technology* 149 (2019) 58–65
- **Z. Ju:** Roles of phenolics, ethylene and fruit cuticle in scald development of apples (*Malus domestica* Borkh) , Diss. University of Massachusetts 1997
- **Z. Ju, W.J. Bramlage:** Developmental changes of cuticular constituents and their association with ethylene during fruit ripening in ‘Delicious’ apples, *Postharvest Biology and Technology* 21 (2001) 257–263
- **R.R. Moreira, E.C. Zielinski, C. Castellar, A.B. Filho, L.L. May De Mio:** Study of infection process of five species of *Colletotrichum* comparing symptoms of glomerella leaf spot and bitter rot in two apple cultivars, *Eur J Plant Pathol* 2020
- **X. Dong, J. Rao, D.J. Huber, X. Chang, F. Xin:** Wax Composition of ‘Red Fuji’ Apple Fruit during Development and during Storage after 1-Methylcyclopropene Treatment, *Hort. Environ. Biotechnol.* 53(4):288-297. 2012.
- **Z.-Q. Zhang, T. Chen, B.-Q. Li, G.-Z. Qin, S.-P. Tian:** Molecular basis of pathogenesis of postharvest pathogenic Fungi and control strategy in fruits: progress and prospect, *Molecular Horticulture* (2021) 1:2
- **Th. Eitinger, H.G. Schlegel:** Allgemeine Mikrobiologie, 6.10 Sterilisation und Desinfektion, S.182 - 186, 8. Auflage 2007.
- **F. Höhne:** Inhaltsstoffe Apfel, 7. Bio-Streuobsttagung, Freising, 15.2.2018.
- **B. Trierweiler:** Heisswasserbehandlung von Äpfeln, Max-Ruber- Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Institut für Sicherheit und Qualität bei Obst und Gemüse. Karlsruhe, März 2023
- **B. Trierweiler:** Heisswassertauchen: Optimal gesteuert, optimal gegen *Gloeosporium*, *Besseres Obst* 8/2012, S. 6-8.

- **Y. Chai, et al.:** Cuticular wax composition changes of 10 apple cultivars during postharvest storage, *Food Chemistry* 324 (2020) 126903
- **E. Fallik, Z. Ilic:** Control of Postharvest Decay of Fresh Produce by Heat Treatments; the Risks and the Benefits, <https://www.researchgate.net/publication/336865694> (2019) 521--538
- **H.H.F. Holthusen, A. Appel:** Erhaltung der Fruchtqualität und Vermeidung von Lagerverlusten bei Äpfeln ohne chemischen Pflanzenschutz durch alternative Behandlungsmethoden, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Projektkennung Az 31716-34, Abschlussbericht 2018
- **Q.C. Ma et al.:** *Food Science and Human Wellness* 10 (2021) 174-182
- **S. Roy et al.:** Heat Treatment Affects Epicuticular Wax Structure and Postharvest Calcium Uptake in 'Golden Delicious' Apples, *Hortscience* 29(9) (1994) 1056–1058
- **B. Wassermann, P. Kusstatscher, G. Berg:** Microbiome Response to Hot Water Treatment and Potential Synergy With Biological Control on Stored Apples, *Frontiers in Microbiology* Vol. 10, Art. 2502 (2010)
- **P. Kusstatscher et al.:** Microbiome-Assisted Breeding to Understand Cultivar-Dependent Assembly in Cucurbita pepo, *Frontiers in Plant Science* Vol. 12, Art. 642027 (2021)
- **R. Saville:** A review of the Literature of the Neofabraea species complex, causative agents of *Gloeosporium* rot in stored apple, Horticultural Development Company Technical Report TR-TF 003 (2015)
- **E, Fallik, S. Alkalai-Tuvia, D. Chalupowicz:** Hot Water Rinsing and Brushing of Fresh Produce as an Alternative to Chemical Treatment after Harvest - The Story behind the Technology, *Agronomy* 11 (2021) 1653
- **K. Bohne et al.:** Mal schnell zu heiß gebadet: Bei Obstsalaten hilft es der Hygiene, *TASPO* 05 (2019) 14
- **A. Konarska:** The structure of the fruit peel in two varieties of *Malus domestica* Borkh. (Rosaceae) before and after storage, *Protoplasma* (2013) 250:701–714
- **I.I. Tahir, E. Johansson, M.E. Olsson:** Improvement of Apple Quality and Storability by a Combination of Heat Treatment and Controlled Atmosphere Storage, *Hortscience* 44(6) (2009) 1648-1654
- **P. Maxim, R.W.S. Weber, H. Lindhard Pedersen, M. Williams:** Hot-Water Dipping of Apples to Control *Penicillium expansum*, *Neonectria galligena* and *Botrytis cinerea*: Effects of Temperature on Spore Germination and Fruit Rots, *Europ.J.Hort.Sci.*, 77 (1) (2012) 1–9
- **Y. Chai et al:** Cuticular wax composition changes of 10 apple cultivars during postharvest storage, *Food Chemistry* 324 (2020) 126903
- **S.E. Kulling, H. Schirmer, B. Trierweiler:** Das geht nicht nur bei Äpfeln!, <https://obstwein-technik.eu>: Zubehör, 12.03.2013
- **C. Good, F. Gasser, A. Naef:** Heisswasserbehandlung von Kernobst, <https://obstwein-technik.eu>: Reinigungsgeräte, 11.04.2013
- **K. Schloffner:** Heisswasserduschen statt Heisswassertauchen, <https://obstwein-technik.eu>: Zubehör, 20.12.2013
- **P. Maxim, R.W.S. Weber:** Wirkungsweise der Heisswasserbehandlung von Äpfeln, <https://obstwein-technik.eu>: Zubehör, 17.03.2014
- **B. Gigler:** Grazer Forschenden-Team entwickelt biologische Methoden zur Verbesserung der Lagerfähigkeit von Obst und Gemüse, TU Graz news 06.11.2019
- **F. Siemens, E. Monning:** Äpfel haltbar machen: Der Trick mit dem heißen Wasser, *Mein schöner Garten*, 23. 09. 2018
- **D.S. Wachter:** Speckige Äpfel: Das verbirgt sich hinter der Wachsschicht bei den Früchten, *Stern*, 30.11.2018
- www.alexmo-cosmetics.de: *Myrica Pubescens* Fruit Wax

