



Schlussbericht zum Thema

**SusOrgPlus - Entwicklung von
intelligenten und energiereduzierten
Verarbeitungsketten, natürlichen
Lebensmittelzusatzstoffen und
Farbstoffen sowie unterstützendes
Material für einen Verhaltenskodex zur
Erhöhung der Nachhaltigkeit und der
Verbraucherakzeptanz von Bio-
Lebensmitteln**

FKZ: 2817OE005

**Projektnehmer: Agrartechnik, Universität
Kassel, Innotech Ingenieurgesellschaft mbH**

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

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖLN-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter

www.bundesprogramm.de

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

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel: 0228-6845-3280
E-Mail: boeln@ble.de

Übersicht der geleisteten Arbeiten im SusOrgPlus Projekt

Laufzeit 01.05.2018– 30.04.2021

Gesamtübersicht

Die Verarbeitung von Bio-Lebensmitteln ist durch empirische Ansätze gekennzeichnet, die einen hohen spezifischen Rohstoff- und Energiebedarf sowie eine Verschlechterung der Produkte zur Folge haben und sich somit auf die gesamte Nachhaltigkeit und Produktqualität auswirken. Beschränkungen bei der Verwendung von Zusatzstoffen und die Notwendigkeit, umstrittene Materialien aus dem Verkehr zu ziehen, erhöhen den Druck zusätzlich, während das volle Potenzial natürlicher Zusatz- und Farbstoffe noch nicht ausgeschöpft ist.

SusOrgPlus widmete sich diesen Fragen für die Verarbeitung und Herstellung von wertgesteigerter Produkte (natürliche Zusatzstoffe und Farbstoffe) anhand ausgewählter Produkte. Vor diesem Hintergrund wurden neuartige, intelligente Prozesse, natürliche Zusatzstoffe und Farbstoffe sowie unterstützendes Material für einen Code of Practice entwickelt. Durch die Einbeziehung führender Lebensmittelwissenschaftler, Prozess-, Maschinen- und Regelungsingenieure, Agrarwissenschaftler und eines Technologieanbieters, sowie durch die Anwendung eines Stakeholder-geführten Ansatzes wurde sichergestellt, dass alle für die Entwicklung intelligenter, effizienter und energiesparender Prozesse und wertgesteigerter Produkte relevanten Aspekte angemessen berücksichtigt wurden.

Um intelligente Trocknungsanwendungen zu entwickeln, wurden Vorhersagemodelle für Feuchtigkeit und verschiedene wertgebende Bestandteile für pflanzliche und tierische Produkte entwickelt und die Deep-Learning-Technologie hinsichtlich der Produkterkennung wurde erfolgreich für mehrere Produkte getestet. Des Weiteren wurden die kritische Kontrollpunkttrocknung und Offline-Anwendungen für eine Reihe von Produkten untersucht und Schlussfolgerungen zur Implementierung des Ansatzes gezogen. Tests zur produkttemperaturgesteuerten Trocknung und zur intermittierenden Trocknung zeigten Potenzial für kürzere Trocknungszeiten und damit einen geringeren Energiebedarf, Beobachtungen zur Produktqualität zeigten Vorteile im Vergleich zur herkömmlichen Trocknung. Um die Zugänglichkeit zu den im Projekt entstandenen Daten zu ermöglichen, wurde ein Datenmanagementsystem (DMS) auf Basis verfügbarer Open-Source-Lösungen eingerichtet, in das Produkt- und Prozessroh- und -prozessdaten der im Projekt durchgeführten Versuche schnell und einfach übertragen und von den Partnern gesichert werden können. Vor dem Hintergrund der nachhaltigen Verarbeitung wurde ein klimaneutraler Wärmepumpentrockner entwickelt, der den Herausforderungen, die bei der Chargentrocknung auftreten, entsprechend aufgebaut ist und erfolgreich in Betrieb genommen wurde. Es wurden natürliche Konservierungsmittel, Farbstoffe,

Aromen und Produkte zur Nährstoffanreicherung entwickelt. Dazu wurden Hopfen, Tomate und Brennnessel und, im Hinblick auf die Reduzierung von Lebensmittelabfällen, Nebenprodukte aus der Extraktions- oder Saftproduktion für die Pulver- und Extraktverarbeitung eingesetzt und die Produktionsmethoden evaluiert. Mit Pulver und Extrakten angereicherte Produkte (Grüntee-Extrakt-Anreicherung, Nudeln und Backwaren) wurden entwickelt und die Vorbehandlung und Rezepturen durch chemische Analysen und sensorische Tests hinsichtlich des Nährwerts bewertet. LCA und LCCA wurden angewendet, um die entwickelten Produkte und die Verarbeitung mit dem entwickelten Wärmepumpentrockner zu bewerten.

Die Projektergebnisse wurden auf nationalen und internationalen Konferenzen, Messen und in Zeitschriftenartikeln präsentiert, Stakeholder wurden über Pressemitteilungen und Zeitungsartikel, Beiträge im CoreOrganic-Newsletter und Praxis-Abstracts erreicht.

Erreichte Ziele

SusOrgPlus strebte danach, fünf Hauptziele zu erreichen: **1. Entwicklung eines kostengünstigen, intelligenten Verarbeitungssystems** mit dynamischer, multifaktorieller Prozesssteuerung für die Herstellung von getrockneten Lebensmitteln und Zusatz- und Farbstoffen in Pulverform mit erhöhtem Nährwert und verbesserter Gesamtqualität für die Anwendung innerhalb und außerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs. Vor diesem Hintergrund wurde das computerbasierte Sehen (CV, computer vision) zur automatischen Erkennung eines Produktes, sowie der dazugehörigen Trocknungsstrategie, entwickelt. Weiterhin wurden Vorhersagealgorithmen entwickelt, die es ermöglichen, dass verschiedene Produktparameter während des Prozesses zu überwachen und die Trocknungsparameter durchgängig anzupassen um effiziente Trocknungsprozesse hinsichtlich der Produkt- und Prozessqualität zu erhalten. Die Entwicklung solcher Systeme basieren auf hyperspektralen Messungen, deren Daten genutzt werden, die wichtigsten Informationen herauszufiltern und sie in einfache, kostengünstige Systemen (z.B. CCD Sensoren) umzusetzen.

2. Entwicklung einer Demonstrationsanlage für ein CO₂-neutrales Trocknungssystem unter Nutzung von Abwärmerückgewinnung und einer Wärmepumpenanwendung, die auch in kleinem Maßstab wirtschaftlich tragfähig sind und somit den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen ermöglichen, sowie eine kosteneffiziente Produktion und Implementierung intelligenter Verarbeitungssysteme: Basierend auf Prozesssimulationen wurde ein CO₂-Wärmepumpentrockner für die Chargetrocknung mit Sensoren und Kameras zur Überwachung von Prozess- und Produktparametern um die Idee des smart drying in den Wärmepumpentrockner zu integrieren.

3. Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuartiger natürlicher Lebensmittelzusatzstoffe/Farbstoffe (auch aus bisher abgelehnten Rohstoffen) und deren Anwendung in verschiedenen Produkten einschließlich der qualitativen und sensorischen Bewertung ihrer konservierenden Funktionen, ihres ernährungsphysiologischen und nahrungsergänzende (neutrazeutische) Wertes, ihrer Funktion als Farb- und

Aromastoffe. Das Konsortium entschied sich Tomaten, Hopfen und Brennnesseln, sowie die Nebenprodukte aus der Saft- oder Extrakterstellung in die Entwicklung einzubeziehen um so den Anteil wertgebender Inhaltsstoffe (Polyphenole, Antioxidantien etc.) in Backwaren zu erhöhen. Weiterhin wurde mit Grünteeextrakten im Bereich der Möhrentrocknung gearbeitet

4. Durchführung einer Umweltverträglichkeitsanalyse, einschließlich LCA und LCCA, um den Gesamtnutzen der Verwendung von zu wenig oder nicht genutzten Produkten (nach ästhetischen Gesichtspunkten vorsortiert), die gesteigerte Prozesseffizienz und die Reduzierung fossiler Brennstoffe sowie die Auswirkungen der Anwendung intelligenter Verarbeitungsprinzipien auf die Produktqualität und die vorteilhaften Eigenschaften der neuen Produkte (Zusatzstoffe/Farbstoffe) zu bewerten.

5. Die Einbindung von Interessenvertretern, die Beteiligung von Studenten und die Verbreitung der Ergebnisse. Die Einbindung von Stakeholdern hat einen entscheidenden Einfluss auf die Schaffung von neuem Wissen, den Wissenstransfer und die Entwicklung der geplanten Innovationen, daher wurde für die gesamte technologische Entwicklung ein Stakeholder-geführter Ansatz gewählt. Die Verbreitungsaktivitäten werden speziell so gestaltet, dass sie ein breites Spektrum von Interessenvertretern erreicht wurde, insbesondere Erzeuger und Verarbeiter. Während des Projekts wurden pro Partnerland jeweils 1 Workshop/Seminar in den teilnehmenden Ländern erfolgreich durchgeführt. Das Konsortium veranstaltete zum Projektende außerdem eine Veranstaltung zur nachhaltigen Lebensmittelverarbeitung in Zusammenarbeit mit dem ATB Potsdam für Forscher und Verarbeiter. Die Projektergebnisse geben mehrere Ansätze für eine verbesserte Verarbeitung im Hinblick auf die Erhöhung der Produktqualität und die Verringerung der Umweltbelastung und damit der Prozesskosten. Die Erkenntnisse und Projektfortschritte wurde Stakeholder orientiert über regelmäßige Beiträge im CORE Organic newsletter und über 1 Practice Abstract gestreut. Weiterhin ermöglichte das Projekt die Integration von Nachwuchswissenschaftlern (Bachelor-, Master- und Doktoranden) und damit ihre Weiterbildung in verschiedenen Bereichen der Lebensmittelverarbeitung. Neben den Workshops und Seminaren für Stakeholder wurde das Projekt, sowie Projektergebnisse auf nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt und in internationalen Zeitschriften publiziert, oder sind zu diesem Zeitpunkt eingereicht.

Die UNI KASSEL koordinierte das SusOrgPlus Projekt, folgend sind die Ergebnisse aus den einzelnen WPs beschrieben, an denen die UNI KASSEL war.

AP1 Entwicklung intelligenter Verarbeitungsketten

Diese AP wurde von der UNI KASSEL zusammen mit UNITUS koordiniert. Eine Grundvoraussetzung zur Entwicklung intelligenter Systeme und Verarbeitungsstrategien ist zunächst ein tieferes Verständnis für die im Produkt auftretenden Veränderungen in Abhängigkeit der Prozessparameter zu entwickeln um

sie cloudbasiert nutzen zu können. Dazu arbeitete die UNI KASSEL in den ersten beiden Jahren der Projektlaufzeit zur Trocknung von Hopfen (in Zusammenarbeit mit dem Hopfenforschungszentrum Hüll (LfL), Möhren, Äpfeln und Rindfleisch. Im Bereich Hopfen wurde neben dem Einfluss der Prozessparameter (Temperatur, Luftgeschwindigkeit) auch die Schütthöhe, in die Untersuchungen bezüglich der Produktqualität einbezogen, bei den anderen Produkten flossen auch die Parameter „Vorbehandlung“ in die Untersuchungen mit ein. Die Produktanalyse erfolgte hierbei invasiv, zusätzlich wurden Hyperspektraldaten hinsichtlich der Strategieentwicklung nicht-invasiver Mess- und Regelungsverfahren aufgenommen.

Nach kritischer Betrachtung der Marktsituation wurde beschlossen, abweichend von den Planungen im AP1 auch Lösungen zu entwickeln, die nicht unbedingt von einer permanenten Cloud-Verbindung abhängen. Die Arbeit der UNI KASSEL, SINTEF und INNOTECH hat sich daher auf die Entwicklung von Soft Sensors (Sensordatenfusion von umwelt- und produktrelevanten Messungen) und die Bestimmung kritischer Kontrollpunkte konzentriert, die dann als Grundlage für die dynamischen Regelalgorithmen im Regler verwendet werden können. Um kritische Punkte in der dynamischen Entwicklung der Produktqualität zu ermitteln wurden auf Basis der Ergebnisse der kontinuierlichen Trocknung umfangreiche Versuche zur intermittierenden Trocknung von Karotten (*daucus carota cv. laguna*) durchgeführt. Hierzu wurde der Trocknungsprozess bei Feuchtwerten unterbrochen, ab denen der Carotinoidgehalt signifikant abnimmt, und nach einer Temperierzeit von 1 oder 3 Stunden fortgesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die intermittierende Trocknung die Trocknungszeit verkürzen und den Carotinoidgehalt im Vergleich zur kontinuierlichen Trocknung steigern kann (AP5). Die Ergebnisse wurden weiterhin für die Entwicklung einer kritischen Kontrollpunkt-Steuerung verwendet.

Im Hinblick auf die Anwendung multifaktoriellen Steuerungsmechanismen wurde in enger Zusammenarbeit mit INNOTECH ein Modelltrockners konstruiert und Ende 2019/Anfang 2020 in Betrieb genommen. Durch das entwickelte Set-up können Trocknungstemperatur, Luftfeuchte und –geschwindigkeit, basierend auf Daten der Echtzeitüberwachung des jeweiligen Produktes, unabhängig voneinander gesteuert werden. Diesbezüglich wurde der Trockner mit diversen Kamerasystemen ausgestattet, die in- und online Messungen ermöglichen und das Ziel verfolgen, die Produktqualität des Endproduktes zu steigern, und die benötigte Energie, verglichen mit herkömmlichen Trocknungssystemen, zu verringern. Produkttemperaturgesteuerte Prozesse (P) führen zu deutlich kürzeren Trocknungszeiten im Vergleich zu Lufttemperaturgesteuerten Prozessen (A), sodass der Energiebedarf sinkt:

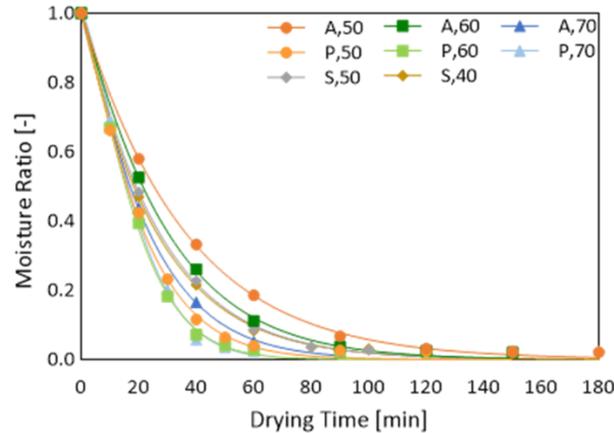


Abbildung 1: Trocknungskurven verschiedener Trocknungsstrategien. A = Lufttemperaturgesteuert, P = Produkttemperaturgesteuert, S = Stufenweise Trocknung (Raut et al., 2021)

Besonders interessant ist hierbei die Bewertung der eingesetzten Mikrocontroller und Sensoren, da mit kostengünstigen Elementen gearbeitet wurde um den Transfer in die Praxis, insbesondere in Bezug auf Klein und Mittelständische Unternehmen, zu ermöglichen. Im Rahmen des Projektes wurden der Trocknungsprozess von Möhren mit drei Strategien untersucht: Regelung der Lufttemperatur, Regelung der Produkttemperatur (50, 60 und 70 °C) und schrittweise Trocknung (60 °C bis zum Erreichen eines vordefinierten Feuchtegehalts, dann herabsetzen der Lufttemperatur). Die Produktfarbe wurde nicht-invasiv mit einer RGB Kamera überwacht, ebenso wurde Hyperspektraldaten im Bereich von 400-1000nm und 900-1700 nm aufgenommen. Die so erzeugten Produktqualitäten wurden im Rahmen des AP 5 bewertet.

Im letzten Projektabschnitt lag der Schwerpunkt, basierend auf Hyperspektraldaten und invasiv aus Laboranalysen gewonnenen Daten, vermehrt auf der Entwicklung von Vorhersagemodellen. Für alle untersuchten Produkte waren die Parameter „Feuchte“ und „Farbe“ (CIELAB L*, a* und b* Werte) Bestandteil der Modellentwicklung, weiterhin „Schrumpfung“, „Carotinoide“ (Möhren), „Wiederbefeuchtungsvermögen“, „Bräunungsindex“ und „Polyphenoloxidase“ (Äpfel). Die Aquisierung von Hyperspektraldaten hat den Vorteil, sehr viele Informationen bereitzustellen, aufgrund der sehr großen Datenmengen (Hypercubes) weist diese Methode aber Nachteile auf, wenn es um kontinuierliche Echtzeitmessungen geht, die für das Prinzip des *smart dryings* benötigt werden. Jedoch bieten die entwickelten Vorhersagemodelle die Möglichkeit, parameterspezifische Wellenlängen /-bereiche zu identifizieren, die dann in vereinfachten Systemen mit kostengünstigen Techniken, z.B. CCD Sensoren, und geringen Bildverarbeitungszeiten genutzt werden können. Die Modellentwicklung wurden über verschiedene Methodenvergleiche evaluiert (Deming und Passing-Bablok Regression), ebenso die mittlere Abweichung zwischen konventioneller Labor- und innovativer spektral Messung (Bland-Altman Plot). Die Ergebnisse weisen die entwickelten Modelle als sehr exakt aus, d.h. die vorhergesagten stimmen zu einem hohen Grad mit den invasiv-gemessenen

überein. Es war weiterhin möglich, Gesamtmodelle zu entwickeln, die gleichzeitig mehrere Qualitätsparameter vorhersagen und Robust gegenüber der Rohqualität (Sorte, Vorbehandlung) oder Trocknungsstrategie waren. Für Rindfleisch konnten beispielsweise 10 Wellenlängen selektiert werden, die sowohl die Feuchte, als auch die CIELAB L*, a* und b* Werte über den Trocknungsprozess mit einer sehr hohen Genauigkeit vorhersagen können. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Aufbereitung der Ergebnisse zur Veröffentlichung in internationalen Journals.

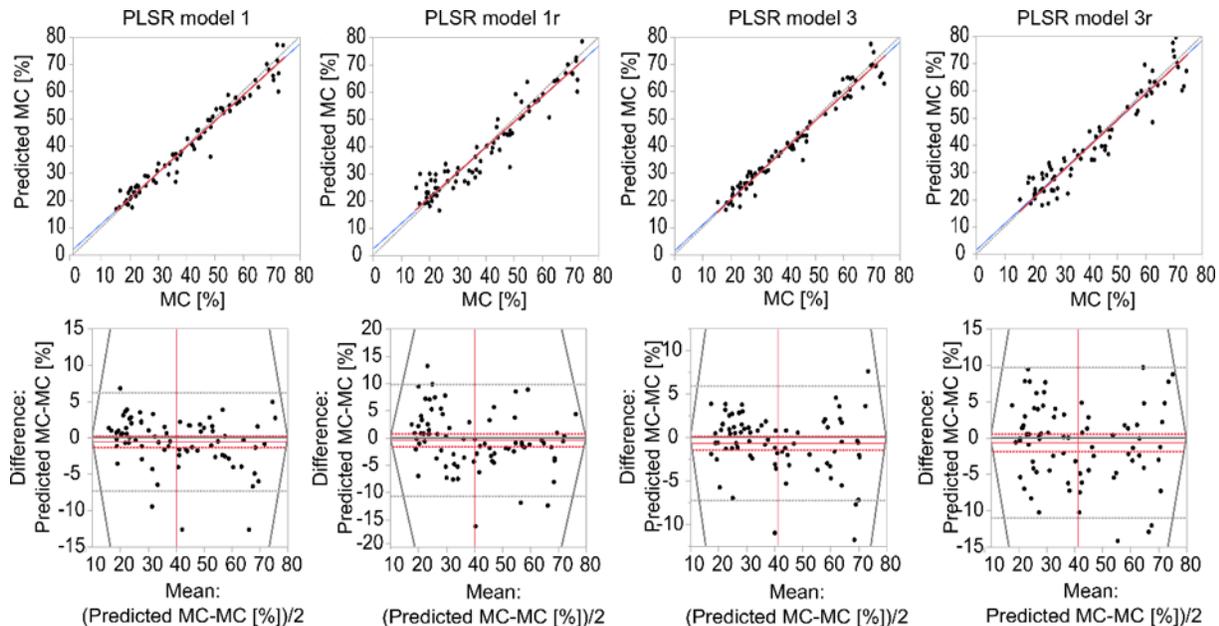


Abbildung 2: Ergebnisse des Methodenvergleichs für den Feuchtegehalt von Rindfleisch während der Trocknung, vorhergesagt mit PLSR-Modellen der vollen (1 und 3) und reduzierten Sätze von Wellenlängen (1r und 3r) im Vergleich zu konventionell gemessenen. Deming-Regression (DR) rote Linie, Passing-Bablok-Regression (PBR) blaue Linie. Gestrichelte graue Linie: Gleichheitslinie. Die jeweiligen Bland-Altman-Diagramme darunter zeigen die Differenz zwischen beiden Messungen im Vergleich zum Mittelwert aus vorhergesagten und konventionell gemessenen Werten. Die graue Linie zeigt die Gleichheitslinie, die rote Linie die mittlere Differenz (Bias) mit den gestrichelten roten Linien, die das 95 %-Konfidenzintervall (CI) um die mittlere Differenz darstellen, und die gestrichelten grauen Linien, die die Grenzen der Übereinstimmung (LOA) darstellen, die die mittlere Differenz $\pm 1,96$ SD (von Gersdorff et al. 2021)

Hinsichtlich der Entwicklung eines Smart Dryers wurden von INNOTECH und UNI KASSEL in der finalen Projektphase Remote-Versuche durchgeführt und die Machbarkeit einer Anbindung des Trockners an eine Cloud demonstriert, was für smart drying Verfahren unerlässlich ist. Der Fokus der Regelung lag hierbei auf der sensorischen Überwachung der Trocknungsluft (Temperatur/Feuchte).

AP2 Klimaneutrale Trocknung ökologischer Produkte

Von Seiten SINTEFs wurde das Modell für den R744 Wärmepumpentrockner in enger Abstimmung mit INNOTECH konzipiert. Dazu wurde von SINTEF eine Wärmepumpe auf Basis des natürlichen Kältemittels R744 (CO₂) mit zwei thermischen Speichern für Prozesswärme und -kälte entwickelt. INNOTECH lieferte und installierte dafür im September 2019 die Trocknungskammer, die für einen Chargentrockner von 20-30 kW konzipiert ist. Die durchgeführten Tests wurden von SINTEF in Zusammenarbeit mit INNOTECH und

UNI KASSEL evaluiert und das System optimiert, sodass letztlich Energieeinsparungen von bis zu 40 % im Vergleich zu herkömmlichen Systemen gemessen werden konnten.

Um auch das Konzept des Smart Dryings in dem innovativen Trockner bereitzustellen, unterstützten UNI KASSEL und INNOTECH beratend die Integration von Kameras und Sensoren um Echtzeitmessungen von Trocknungs- und Produktparametern und das Konzept der produktoberflächengesteuerten Trocknung zu ermöglichen.

AP3 Entwicklung wertgesteigerter natürlicher Extrakte/Farbstoffe

Hinsichtlich der auszuwählenden Produkte für die Verkapselung wurden mit den Partnern und der Arbeitspaketleitung verschiedene Produkte diskutiert und überprüft. Die Entscheidung fiel auf die Nutzung von Hopfen (Hopfen, β -Säure) und Tomaten und Rückständen aus der Saftherstellung (Lycopin). UNI KASSEL stellte dafür UNITE sieben verschiedene Sorten Hopfen zur Verfügung. Die Hopfensorten, die sich durch unterschiedliche Aromaprofile, den Gehalt an bioaktiven und potentiellen Funktionalitäten auszeichnen, wurden evaluiert und der Sorteneinfluss in Bezug auf Lösungsmittel, Prozessbedingungen und Technologien untersucht. Dadurch kann die Extraktionsmethode ermittelt werden, die für die Extraktionsausbeute und -qualität am besten geeignet ist um sie in Lebensmittelformulierungen und -produkten einzusetzen.

AP4 Anwendung der entwickelten Extrakte und Farbstoffe/Entwicklung innovativer Produkte

Die Untersuchung verschiedener Produkte und Produktkombinationen wurden an der Uni Kassel in Zusammenarbeit mit INNOTECH gestartet. Der besondere Schwerpunkt lag hierbei auf der Herstellung von Teigwaren mit eingearbeiteten nährstoffreichen Pulvern (z.B. Tomate, Brennnessel, Spinat, Rote Bete, Süßkartoffel (orange fleischig), Karotte, Kürbis) und Backwaren. Untersuchungen zeigten, dass eine knetfähige Teigkonsistenz stark von dem verwendeten Zusatz abhängt und dementsprechend die verwendete Menge Wasser individuell angepasst werden muss. Besonders deutlich wurde dies noch einmal beim Zusatz von Süßkartoffelmehl von geschälten und ungeschälten Süßkartoffeln hinsichtlich der Herstellung nährstoffgesteigerter Brote. Eine gesteigerte Haltbarkeit im Vergleich zu Weißmehlbrotten konnte für Mischteige aus Weiß-, Kürbis- und Süßkartoffelmehl gezeigt werden.

AP 5 Qualitäts- und sensorische Bewertung der im Projekt hergestellten Produkte

Das übergeordnete Ziel dieses WP war die Unterstützung der Arbeitspakete, die sich 1. mit der Verbesserung des Prozessverständnisses durch eine eingehende Analyse der Veränderungen eines Produktes während der Trocknungsprozesse und der Entwicklung innovativer Prozesstechniken und -einstellungen befassen. Zu diesem Zweck wurden umfangreiche Analysen von chemischen, mikrobiologischen, strukturellen, sensorischen und visuellen Eigenschaften von Produkten und Haltbarkeitstests für die getrockneten und Produkte durchgeführt. Die UNI KASSEL lieferte in diesem Rahmen Analyseergebnisse aus den WP 1

(Fleisch, Äpfel, Möhren und Hopfen). Die Ergebnisse wurden an das WPs zurückgegeben und für die Prozessanalyse und -optimierung sowie die Entwicklung nicht-invasiver Mess- und Regelsysteme mit chemometrischen Methoden verwendet.

Es zeigte sich deutlich, dass der Erhalt der Carotinoide während der Möhrentrocknung stark von der angewendeten Temperatur ist und die produkttemperaturgesteuerte Trocknung im Vergleich zur lufttemperaturgesteuerten Trocknung Vorteile hinsichtlich der Qualität aufweist. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass der Carotinerhalt nicht zwingend mit dem Erhalt der Farbe korreliert, da die höchste Farbveränderung dort gemessen wurde wo der Carotingehalt am höchsten war und noch einmal zeigt, dass Qualität sehr parameterspezifisch ist und die Verarbeitung der weiteren Verwendung des Produktes angepasst werden sollte.

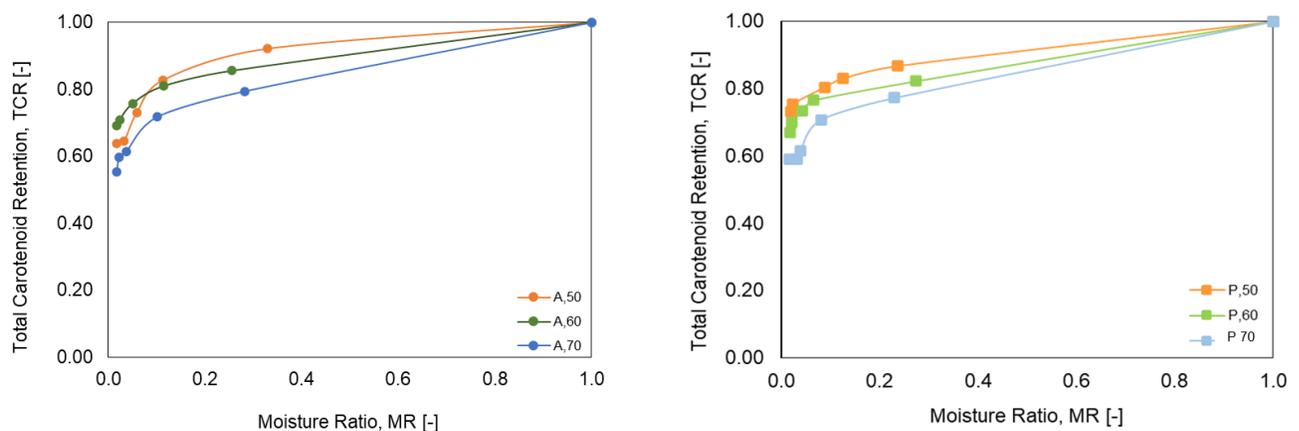


Abbildung 3: Erhaltung von Carotin bei der Luft- (A) und Produkttemperatur (P) gesteuerten Trocknung von Möhren. (Raut et al., 2021)

Die innovative Strategie der intermittierenden Trocknung führte in Abhängigkeit des Zeitpunktes der Unterbrechung des Trocknungsprozesses zu erhöhten Carotingehalten verglichen mit kontinuierlichen Prozessen.

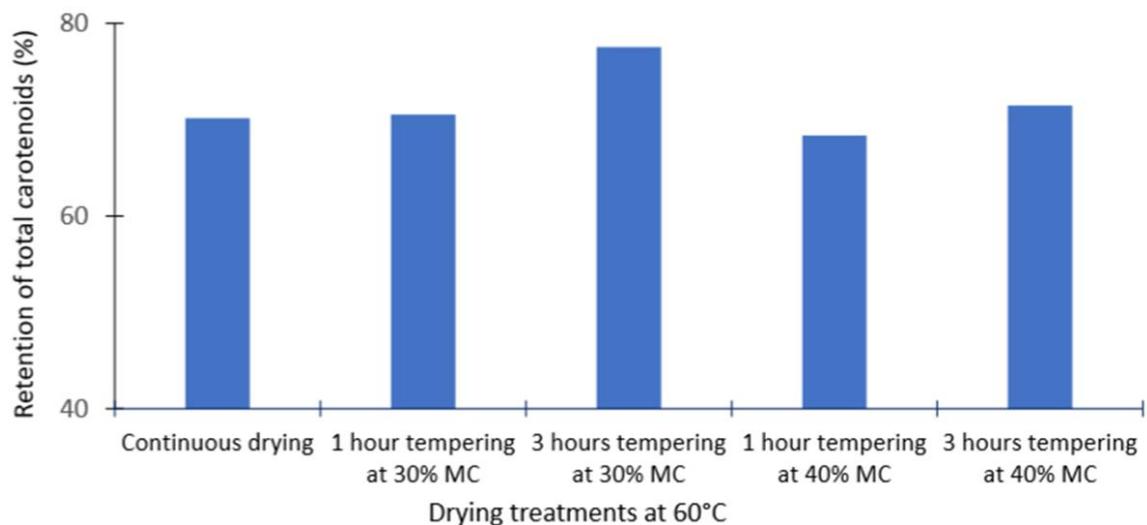


Abbildung 4: Erhalt von Carotin bei kontinuierlicher und intermittierender Trocknung von Möhren (Saleh et al., 2019).

AP 6 Integration von Wertschöpfungsketten, LCA und LCCA

Die UNI KASSEL und INNOTECH lieferten Informationen und Ergebnisse zu den bearbeiteten Produkten, sodass die Partner der SLU verlässliche LCAs und LCCAs erstellen konnten.

AP7 Einbeziehung von Stakeholdern, Studenten und Dissemination

Ziel dieses WP war es, die Ergebnisse des Projekts im wissenschaftlichen Umfeld, wichtiger aber noch an die wichtigsten Interessenvertreter der Agrar- und Lebensmittelkette, die im ökologischen Sektor tätig sind, weiterzugeben. Dafür wurde zu Beginn des Projektes ein Flyer Projektflyer erstellt. Pressemitteilungen und Stakeholder Artikel wurden erstellt.

Die Ergebnisse der Projektforschung haben es ermöglicht mehr als 20 Publikationen in internationalen Zeitschriften zu veröffentlichen (davon 10 UNI KASSEL), während weitere Zeitschriftenbeiträge bereits eingereicht wurden (davon 3 UNI KASSEL).

Die Partner nahmen an nationalen und internationalen Konferenzen (3 UNI KASSEL) teil und präsentierten die allgemeinen Ziele des Projekts oder spezifische Projektforschungsergebnisse. Als zusätzliches Instrument der Wissensverbreitung wurden Praktika, Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten aufgenommen. Diese sind das Ergebnis der Beteiligung der Studierenden an den Forschungen der Partner, wodurch auch die Verbreitung der Projektaktivitäten an eine unerwartete Zielgruppe (Studierende) erweitert werden kann. Die Studenten wurden in die Laborarbeit einbezogen, aber auch die Arbeit auf verarbeitenden Betrieben wurde ermöglicht. Die UNI KASSEL betreute einen Erasmusstudenten des Partners UNITUS, weiterhin wurde die Projektforschung von Praktikanten/wissenschaftlichen Hilfskräften unterstützt. An der UNI KASSEL trugen die Projektergebnisse zur Erstellung von 4 Dissertation bei.

Die Partner haben sich an der Organisation von nationalen und internationalen Workshops beteiligt. Die UNI KASSEL gab im Rahmen des SusOrgPlus Projektes 3 Seminare/Workshops im Bereich der (ökologischen) Lebensmittelverarbeitung und veranstaltete ein Training für Studierende. Zum Projektende wurde in Kooperation mit dem ATB Potsdam ein internationaler Online Workshop organisiert, auf dem Projektergebnisse präsentiert wurden und durch Impulse anderer Institutionen im Bereich der ökologischen Lebensmittelverarbeitung ergänzt wurde.

Social Media wurde nur in begrenztem Umfang genutzt, da alle Partner sich mehr für die Forschungsaufgaben engagieren. Auf Researchgate wurde eine SUSORGPLUS-Projektseite mit über 14 Followern und 263 Reads eingerichtet (letztes Update: März 2021). Die Website www.susorgplus.eu wurde in Kooperation mit UNITE betreut und aktualisiert.

AP8 Koordination und Projektmanagement

Die Gesamtprojektkoordination wurde von UNI KASSEL übernommen, die sich um die interne Projektüberwachung, das Controlling und das Risikomanagement kümmerte. Es wurde eine E-Mail-Kommunikationsstruktur bereitgestellt (susorgplus-partners@uni-kassel.de). Alle zwei Monate wurden Telefonkonferenzen zum Projekt organisiert, um die Kommunikation über den Fortschritt zu erleichtern und das Gemeinschaftsgefühl zu fördern. Weiterhin wurde auf orgprints.org eine Seite für das SusOrgPlus Projekt errichtet, auf dem die Veröffentlichungen einsehbar sind (<http://orgprints.org/view/projects/SusOrgPlus.html>). Die Rolle des Koordinators innerhalb dieses Projekts war: (a) Vorbereitung, Organisation und Vorsitz der Projektbesprechungen; (b) Kontrolle der Arbeitsinhalte in jedem Arbeitspaket mit Spezifikationen und Zeitplan; (c) Projektüberwachung unter Verwendung vordefinierter Indikatoren zur Überwachung von Leistung und Wirkung; (d) Berichterstattung.

Zwei allgemeine Projekttreffen (Mai 2019 in Viterbo, IT; September 2020, online) aller Partner zuzüglich des Kick-Offs (Mai 2018 in Uppsala, SE) und des Abschlusstreffens (31. März 2021 online) wurden geplant und durchgeführt und dokumentiert. Das Abschlusstreffen fand auf Wunsch des Konsortiums kurz vor Projektende statt. Der Koordinator hat am von den CoreOrganicPlus-Koordinatoren organisierten „CORE Organic Cofund Research Seminar“ (Bari, IT, Januar 2019) teilgenommen.

Jeder WP-Leiter arbeitete eng mit dem Projektkoordinator und den anderen Projektpartnern zusammen. Die Arbeitspaketleiter waren für die Koordination ihrer jeweiligen Arbeitspakete und die damit verbundene Berichterstattung verantwortlich. Interessenvertreter wurden nach Möglichkeit einbezogen, um den Output des Projekts zu stärken.

PM und Projektbudget

Die im SusOrgPlus Projekt durchgeführten Arbeiten zu den o.g. Arbeitspaketen wurden von ursprünglich 39,6 PM auf 41,2 PM, weitere 2 PM wurde als Eigenleistung zur Verfügung gestellt. Die bewilligten 327.500,04 € konnten, sobald die letzte Publikation angenommen ist, genau ausgegeben werden.

Wissenschaftliche Beiträge:

Konferenzen:

- Md Saleh, R.; Emiliozzi, A.; Kulig, B.; Hensel, O.; Sturm, B. (2019) The effect of intermittent drying on drying kinetics and quality change dynamics of organic carrot (*daucus carota* v. *laguna*). Poster at Euro-drying 2019, 10-12 July 2019, Torino, Italy
- Moscetti, R.; Raponi, F.; Sturm, B.; Nallan Chakravatula, S.S.; Massantini, R. (2019) Feasibility of computer vision as Process Analytical Technology tool for the drying of organic apple slices. In: Proceedings of EuroDrying 2019, July 10-12, 2019, Torino, Italy.
- Raut, S., Kirchhofer, P., Hensel, O., Sturm, B. (2020). Developing Smart Dryers Using Adaptive Control System To Improve Food Product Quality, International Drying Symposium 2020, 27.06.-01.07. 2020, Worcester, Massachusetts (angenommener Beitrag)
- Raut, S.; von Gersdorff, G.; Wittkamp, S.; Münsterer, J.; Kammhuber, K.; Kulig, B.; Hensel, O., Sturm, B. (2019) Influence of storage time on essential oil components in dried hops. Poster at Eurodrying 2019, 10-12 July 2019, Torino, Italy
- Shrestha, L., Moschetti, R., Crichton, S., Hensel, O., Sturm, B. (2018). Organic apples (cv. Elstar) quality evaluation during hot-air drying using Vis/NIR hyperspectral imaging. IDS 2018, Valencia, ESP.
- Sturm, B., Moschetti, R., Crichton, S.O.J., Raut, S., Bantle, M., Massantini, R. (2018). Feasibility of Vis/NIR spectroscopy and image analysis as basis of the development of smartdrying technologies. IDS 2018, Valencia, ESP.
- Sturm, B., von Gersdorff, G.J.E., Raut, S., Hensel, O. (2019). SusOrgPlus – Intelligente Lebensmittelverarbeitung, natürliche Zusatz- und Farbstoffe, WiTa 2019, Kassel.
- von Gersdorff, G. J.E., Shrestha, L., Raut, S., Retz, S.K., Hensel, O., Sturm, B. (2018). Impact of processing temperature on drying behavior and quality changes in organic beef. IDS 2018, Valencia, ESP.
- von Gersdorff, G. J.E.; Kirchner, S.M.; Hensel, O. and Sturm, B. (2019) First steps towards smart drying of beef slices seasoned with different pre-treatments. In: Proceedings of Euro-drying 2019, 10-12 July 2019, Torino, Italy.
- von Gersdorff, G.J.E., Kirchner, S., Hensel, O., Sturm, B. (2019/2020). Development of robust algorithms for non-invasive real time measurement of product status throughout the drying process of beef slices, International Drying Symposium 2020, 27.06.-01.07. 2020, Worcester, Massachusetts (angenommener Beitrag)
- von Gersdorff, G.J.E., Kirchner, S., Hensel, O., Sturm, B. (2020). Development of sustainable drying strategies for beef drying. Organic World Congress 2020, 21.09.-27.09.2020, Rennes, France (angenommener Beitrag)

Journal:

- Md Saleh, R., Kulig, B.; Hensel, O., Sturm, B. (2020). Investigation of dynamic quality changes and optimization of drying parameters of carrots (*Daucus carota* var. laguna). *Journal of Food Process Engineering*. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13314>
- Md Saleh, R., Kulig, B., Emiliozzi, A., Hensel, O., & Sturm, B. (2020). Impact of critical control-point based intermittent drying on drying kinetics and quality of carrot (*Daucus carota* var. laguna). *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, Doi:10.1016/j.tsep.2020.100682.
- Md Saleh, R., Kulig, B., Arefi, A., Hensel, O., & Sturm, B. (2020). Method comparisons and model prediction performance of non-invasive measurement using hyperspectral imaging of total carotenoids, color and moisture content of dried carrot (*Daucus carota* var. laguna). *Computers & Electronics in Agriculture*, eingereicht.
- Raut, S.; von Gersdorff, G.J.E; Münsterer, J.; Kammhuber, K.; Hensel, O. and Sturm, B. (2020) Influence of pre-drying storage time on essential oil components in dried hops (*Humulus lupulus* L.). *Journal of The Science of Food and Agriculture*, n.n., pp. 1-9. Doi: 10.1002/jsfa.10844
- Raut, S.; von Gersdorff, G.J.E.; Münsterer, J.; Kammhuber, K.; Hensel, O. and Sturm, B. (2020) Impact of Process Parameters and Bulk Properties on Quality of Dried Hops. *Processes*, 11 (8), pp. 1-23. Doi: 10.3390/pr8111507
- Raut, S., Md Saleh, R., Kirchhofer, P., Kulig, B. Hensel, O & Sturm, B. (2021). Investigating the effect of different drying strategies on the quality parameters of *Daucus carota* L. using dynamic process control and measurement techniques. *Food Bioprocess Technology*, angenommen.
- Raut, S., Kulig, B., Arefi, A., Kirchhofer, P., Hensel, O & Sturm, B. (2021) Methods comparison to understand the effect of process strategies on essential quality parameters of *Daucus Carota* var. Laguna using multivariate analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, eingereicht.
- Shrestha, L.; Crichton, S.O.J.; Kulig, B.; Kiesel, B.; Hensel, O.; Sturm, B. (2020). Comparative analysis of methods and model prediction performance evaluation for continuous online non-invasive quality assessment during drying of apples from two cultivars. *Thermal Science and Engineering Progress Journal*.
- Shrestha, L.; Kulig, B.; Moschetti, R.; Massantini, R.; Pawelzik, E.; Hensel, O. and Sturm, B. (2020) Optimisation of Physical and Chemical Treatments to Control Browning Development and Enzymatic Activity on Fresh-cut Apple Slices. *Foods*, 9 (1), pp. 1-21. Doi: 10.3390/foods9010076
- Shrestha, L.; Kulig, B.; Moschetti, R.; Massantini, R.; Pawelzik, Elke; Hensel, O. and Sturm, B. (2020) Comparison between Hyperspectral Imaging and Chemical Analysis of Polyphenol Oxidase Activity on Fresh-Cut Apple Slices. *Journal of Spectroscopy*, n.n., pp. 1-10. Doi: 10.1155/2020/7012525
- Sturm, B.; Raut, S.; Kulig, B.; Münsterer, J.; Kammhuber, K.; Hensel, O.; Crichton, S.O.J. (2020) In-process investigation of the dynamics in drying behaviour and quality development of hops using visual and environmental sensors combined with chemometrics, *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105547. Doi: 10.1016/j.compag.2020.105547
- von Gersdorff, G.J.E; Kulig, B.; Hensel, O. and Sturm, B. (2021) Method comparison between real-time spectral and laboratory based measurements of moisture content and CIELAB color pattern during dehydration of beef slices. *Journal of Food Engineering*, 294, p. 110419. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110419

von Gersdorff, G.J.E; Kirchner, S.M.; Hensel, O., Sturm, B. Impact of drying temperature and salt pre-treatments on drying behavior and instrumental color and investigations on spectral product monitoring during drying of beef slices, Meat Science, Revision eingereicht

Workshops/Seminare:

Sturm, B: Trockenprodukte – intelligent und effizient herstellen. Workshop für Verarbeiter im Rahmen des "Organic Market Forums" auf der ANUGA 2019 in Köln

Sturm, B: Intelligent food processing chains, natural additives and colourants. Biofach Congress 2020: Careful, Gentle, Minimal: What are the principles of organic processing?

Von Gersdorff, G. SusOrgPlus: Smart processing chains, natural food additives and colorants. TP Organics' Science Day 2021: Innovating for organic food processing. Biofach 2021

Sturm, B, Raut, S., Shrestha, L., von Gersdorff, G., Saleh, R., Blockkurs Lebensmittelverarbeitung mit Praktikum für Masterstudierende. August 2019.

Workshop in Kooperation mit dem ATB Potsdam: Smart and sustainable food processing of organic fresh produce – what´s promising, what´s new? April 2021

Weitere Beiträge zum Projekt

Leaflet zum Projekt: „Intelligent food processing chains, natural additives and colourants“ (https://projects.au.dk/fileadmin/projects/coreorganiccofund/susorgplus_leaflet_web.pdf)

Core Organic Practice Abstract mit dem Titel: “Smart drying of organic food products” von UNI KASSEL und INNOTECH in Zusammenarbeit mit SINTEF.

Pressemitteilung UNI KASSEL: "Code of Practice für die Produktion ökologischer Lebensmittel", September 2018

Artikel in der HNA (regionale Tageszeitung: “Bio nicht nur auf dem Feld”), November 2018

Report im Lebensmittelbrief: "Intelligente Lebensmitteltrocknung", Sturm, B. & von Gersdorff, G., Juli/August 2020.

Im SusOrgPlus Projekt beteiligte Studenten

Thesis Titel	Name/Grad	Jahr
Investigation of drying behaviour and color development of beef slices and development of non-invasive monitoring approach	Gardis v. Gersdorff (PhD student)	Started in 2016
Process optimisation and development of non-invasive monitoring approaches for the drying of apples	Luna Shrestha (PhD student)	started in 2016
Investigation of potential drying strategies for quality maintenance of organic carrot	Rosalizan Md. Saleh (PhD student)	Started 2016
Optimizing drying processes using dynamic adaptive control systems with real time measurement of agricultural product quality	Sharvari Raut (PhD student)	Started 2017
Einfluss der Prozessführung der Hopfentrocknung auf die Produktqualität	Sebastian Wambach (Master Student, internship report)	2018