

**EINGANG**

**17. JULI 2018**

**Referat 315**



Schlussbericht

**SusFood: Sustainable & Healthy - Verkapselung von Pflanzenextrakten mittels der Hochdruckverfahren PGSS und CPF**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Feststoffverfahrenstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Marcus Petermann  
Universitätsstr. 150  
44801 Bochum

Name	Telefon	E-Mail
Prof. Dr.-Ing. Marcus Petermann	0234 32 26442	petermann@fvt.rub.de
Prof. Dr.-Ing. Andreas Kilzer	0234 32 26581	kilzer@vtp.rub.de
Dipl.-Ing. Steffen Hildebrandt	0234 32 26443	hildebrandt@fvt.rub.de

Geschäftszeichen: 315-06.01-2814ERA04B  
Förderkennzeichen: 2814ERA04B

Laufzeit: Oktober 2014 bis Oktober 2017  
Berichtszeitraum: Oktober 2014 bis Oktober 2017

Bochum, 10. Jul. 2018

  
Prof. Dr.-Ing. M. Petermann

## Inhalt

Einleitung / Allgemeines zum Projekt.....	3
Vorversuche .....	6
Vorversuche Sprühtrocknung.....	6
Vorversuche PGSS / CPF.....	7
Extraktanalyse .....	7
Verkapselungsversuche .....	8
Sprühtrocknungsversuche .....	8
PGSS Versuche.....	9
Zusammenfassung .....	10
Verwertung und Veröffentlichungen.....	12
Finanzielles .....	13
Anhang A: Abweichungen vom Finanzplan .....	14
Anhang B: Versuche Sprühtrocknung und PGSS .....	15
Anhang C: Fortschreibung des Verwertungsplan.....	16

## Einleitung / Allgemeines zum Projekt

Bei dem bearbeiteten Projekt „Sustainable & Healthy – Development of sustainable processing technologies for converting by-products into healthy, added value ingredients and food products“ handelte es sich um ein Gemeinschaftsprojekt des Research Institute of Sweden (RISE) (zu Projektbeginn noch SIK - The Swedish Institute for Food and Biotechnology), der Faculty of Food Science der Warsaw University of Life Science, dem Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie der TU Berlin und dem Lehrstuhl für Feststoffverfahrenstechnik der Ruhr-Universität Bochum. Ziel des Projektes war die Rückgewinnung von Wertstoffen, wie etwa Antioxidantien und anderen bioaktiven Substanzen aus den bei der Blaubeersaftproduktion anfallenden Pressrückständen, da diese sonst als Abfall entsorgt werden. In Arbeitspaket 1 konnte von RISE schon erfolgreich gezeigt werden, dass aus diesen Pressrückständen mit überkritischem Kohlenstoffdioxid und Ethanol als Schlepptmittel, ein entsprechendes Extrakt gewonnen werden kann.

In dem von FVT bearbeiteten Arbeitspaket 2 des Projektes wurde die Stabilisierung des flüssigen Blaubeerextraktes durch Sprühtrocknung sowie die Verarbeitung mit den Hochdrucksprühverfahren PGSS (Particles from Gas Saturated Solutions) und CPF (Concentrated Powder Form) untersucht. Bei der Sprühtrocknung handelte es sich um einen konventionellen Trocknungsprozess in einem Laborsprühtrockner. Dieser Prozess stellt eines der technisch bedeutsamsten Verfahren zur Erzeugung von Pulvern aus feststoffhaltigen Flüssigkeiten dar.

Der Vorteil der Sprühtrocknung liegt vor allem in einem einfachen Aufbau der Anlage, sowie einer möglichen kontinuierlichen Betriebsweise. Als Prozessgas kann Luft oder, wenn eine inerte Gasatmosphäre erwünscht ist, Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) eingesetzt werden. Neben den Verfahrensparametern Temperatur des Mediums und Förderrate der Pumpe, nehmen besonders die Qualität der Zerstäubung des Feedstromes und die Stromführung des Prozessgases Einfluss auf den Prozess der Sprühtrocknung. Eine Möglichkeit zur Zerstäubung des Feedstromes bildet der Rotationszerstäuber. In diesem wird die zu versprühende Flüssigkeit durch einen mittig angeordneten, schnell rotierenden Käfig gepumpt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Käfigs wird dabei durch den Druck der zugeführten Druckluft angepasst. Eine weitere Möglichkeit zur Zerstäubung stellt die Zweistoffdüse dar. In dieser werden der Feedstrom und die Druckluft einem Düsenkopf getrennt zugeführt. Hierbei wird zur Zerstäubung des Feedstromes die kinetische Energie der Druckluft genutzt. Durch die Düse werden Tröpfchen gebildet, die im umgebenden

heißen Luftstrom getrocknet werden und deren Lösungsmittel in die Heißluft übergeht. Beide Prozessfahrweisen sowie verschiedene Parameter wurden bezüglich ihrer Eignung zur Stabilisierung des Extraktes untersucht.

Beim PGSS Prozess hingegen handelt es sich um ein Hochdrucksprühverfahren mit dessen Hilfe auch schmelzbare, reine Substanzen mit und ohne Lösungsmittel pulverisiert werden können. Hierbei wird die zu versprühende Schmelze durch eine Hochdruckpumpe verdichtet und zu einem statischen Mischer gefördert. Dort kommt die Schmelze mit überkritischem Kohlenstoffdioxid, welches zuvor verdichtet und in einem Wärmeübertrager erhitzt wurde, in Kontakt. Es erfolgt eine intensive Durchmischung der Schmelze und des überkritischen Kohlenstoffdioxids, so dass sich das Kohlenstoffdioxid zu einem gewissen Anteil in die Schmelze einlöst. Anschließend wird das Gemisch mit Hilfe einer Düse in einen Sprühturm zerstäubt. Dabei wird das Gemisch auf Umgebungsdruck entspannt. Durch den Druckabfall nimmt die Löslichkeit des Kohlenstoffdioxids in der Schmelze ab, so dass das eingelöste Kohlenstoffdioxid rasch aus der flüssigen Schmelze ausgast. Durch die Volumenzunahme des expandierenden Kohlenstoffdioxids wird die Schmelze in feine Tröpfchen zerrissen, so dass ein sehr feiner Tröpfchennebel im Sprühturm entsteht. Zusätzlich kühlt sich das Kohlenstoffdioxid während der Expansion aufgrund des Joule-Thompson-Effekts stark ab. Infolgedessen werden auch die feinen Flüssigkeitstropfen so weit gekühlt, bis die Erstarrungstemperatur der Schmelze unterschritten wird. Dann erstarren die Flüssigkeitstropfen zu kleinen festen Partikeln, die durch das kalte Kohlenstoffdioxid noch zusätzlich unterkühlt werden.

Neben dem eigentlichen PGSS-Verfahren hat sich mit dem PGSS-Drying-Verfahren ein weiteres Hochdrucksprühverfahren etabliert. Anders als beim oben vorgestellten PGSS-Verfahren, liegt die zu pulverisierende Flüssigkeit im Vorlagebehälter nicht als Schmelze vor, sondern als gelöste Substanz in einem flüssigen Lösungsmittel. Ziel ist dabei typischerweise die Pulverisierung des gelösten Reinstoffes bei gleichzeitiger Abtrennung des Lösungsmittels. Das Vorgehen des PGSS-Drying-Verfahrens ist dem Vorgehen beim eigentlichen PGSS-Verfahren sehr ähnlich. Ein Unterschied zwischen beiden Verfahren ergibt sich jedoch bei der Partikelbildung im Sprühturm. Beim PGSS-Drying-Verfahren kommt es durch die abrupte Druckabsenkung ebenfalls zu einer sehr feinen Zerstäubung des Gemisches aus Lösungsmittel, gelöstem Feststoff und eingelöstem Kohlenstoffdioxid. Wenn die Nachexpansionsbedingungen (Temperatur und Zusammensetzung der Gasatmosphäre) im Sprühturm so eingestellt sind, dass eine Kondensation des

Lösungsmittels nicht auftritt, wird das Lösungsmittel mit dem CO<sub>2</sub> gasförmig aus dem Prozess ausgetragen.

Durch eine gezielte Steuerung verschiedener Prozessparameter des PGSS-Verfahrens kann dabei Einfluss auf Eigenschaften des entstehenden Pulvers genommen werden. Hierzu zählen vor allem der Sprühdruk, die Sprühtemperatur, das Massenstromverhältnis aus Schmelze bzw. Lösung und Kohlenstoffdioxid (genannt Lösemittelverhältnis LMV) und die Sprühturmtemperatur.

Beim CPF Verfahren wiederum handelt es sich um ein Agglomerationsverfahren, bei dem ein Trägerstoff durch eine Dosiereinheit in den Sprühturm zugegeben wird. Gleichzeitig wird ein Extrakt unter Zuhilfenahme von CO<sub>2</sub> fein zerstäubt. Dieses Verfahren dient primär der Herstellung von rieselfähigen, flüssigkeitsbeladenen Partikeln, bei denen die Flüssigkeit in Trägerstoffagglomeraten durch Kapillarkräfte und Tränkung gebunden ist.

Die verwendete PGSS- / CPF - Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt.



*Abbildung 1: PGSS / CPF - Anlage*

Ziel der im Vorhaben unternommenen Experimente war es, eine Trocknung und Verkapselung der Wertstoffe in einem entsprechenden Hüllmaterial zu erreichen, mit dem Ziel, die bioaktiven Substanzen und Antioxidantien vor Umwelteinflüssen und Oxidation zu schützen.

Neben der Extraktion sind auch die Weiterverarbeitung der getrockneten und verkapselten Extrakte Gegenstand der Arbeitspakete der Projektpartner. Um den Energieverbrauch während der Lagerung gering zu halten, und um die Haltbarkeit der bioaktiven Substanzen zu erhöhen, wurde in diesem Gemeinschaftsprojekt der Schwerpunkt der Produktentwicklung auf Produkte gelegt, die bei Raumtemperatur gelagert werden können.

Gleichzeitig sollten Verfahren zum Einsatz kommen, die einen geringen Energiebedarf aufweisen, wie z.B. osmotisches Trocknen (AP4 WULS). Die von FVT erzeugten Partikel wurden zur Weiterverarbeitung an RISE geschickt, um deren möglichen Einsatz in Emulsionen zu untersuchen (AP3). Nutznießer dieses Projektes sind u.a. die Lebensmittelhersteller, die Beeren als Rohstoff einsetzen. Dies sind bspw. die Hersteller von Säften, die Hersteller von Produkten, die auf Emulsionen basieren, wie bspw. Suppen oder Smoothies, sowie die Hersteller, die getrocknete Früchte einsetzen, wie bspw. Müsli- oder Joghurthersteller.

## Vorversuche

Aufgrund der saisonalen Blaubeerernte und den, zu Beginn des Projektes geringen vorhandenen Menge Extraktes, wurden zunächst Vorversuche mit einem dem Blaubeerextrakt sehr ähnlichen polyphenolhaltigen, ethanolischen Modell-Extrakt aus Tormentill durchgeführt. Ziel der Vorversuchsreihe war es, zu untersuchen, ob die Anlagentechnik, die bei der Trocknung und Verkapselung des Blaubeerextraktes eingesetzt werden soll, für die Verarbeitung von ethanolischen Naturstoffextrakten geeignet ist. Darüber hinaus sollten geeignete Versuchsparameter für die spätere Verarbeitung des Blaubeerextraktes identifiziert werden.

### Vorversuche Sprühtrocknung

Bei der Sprühtrocknung muss darauf geachtet werden, dass die Parameter außerhalb der oberen und unteren Explosionsgrenze eingestellt werden. Aufgrund des entstehenden feinen Pulvers, der ethanolischen Dämpfe und des anwesenden Luftsauerstoffs müssen Zündquellen sicher ausgeschlossen werden, um Staub- oder Gasexplosionen im Sprühturm zu verhindern. Es können bis zu 3 Liter pro Stunde an ethanolischem Extrakt gefördert und getrocknet werden.

In der Parameterstudie konnte gezeigt werden, dass neben der Fördermenge die Trocknungstemperatur ein wichtiger Faktor ist. Es ist davon auszugehen, dass höhere Temperaturen zwar eine effektivere Trocknung, jedoch auch eine ungünstige Veränderung des Extraktes bewirken. Diese These wird durch den beobachteten, mit der Temperatur steigenden, Massenverlust, gestützt.

Weitere Pulveranalysen hinsichtlich Morphologie, Farbe, Schüttdichte, Stampfdichte und Restfeuchtegehalt wurden durchgeführt und deren Ergebnisse wurden den entsprechenden Versuchsparametern zugeordnet.

## Vorversuche PGSS / CPF

Die Explosionsgrenzen sind bei der Verwendung der PGSS / CPF Anlage nicht von Bedeutung, da im Sprühturm im Betrieb kein Luftsauerstoff vorhanden ist, sondern verfahrensbedingt, eine inerte Kohlenstoffdioxid-Atmosphäre vorliegt. Als besonders wichtig für die Prozessstabilität erwies sich die Viskosität des Extraktes. Je nach Zusammensetzung war das Edukt zu zähflüssig, um durch die Kolbenpumpe gefördert zu werden und somit einen kontinuierlichen Prozess zu gewährleisten. Hier konnte durch die Zugabe von Wasser Abhilfe geschaffen werden.

Da es auch während der PGSS-Versuche zu Unregelmäßigkeiten bei der Förderung bzw. zu Verstopfungen im statischen Mischer und an der Düse und dadurch zu Schwierigkeiten kam, wurde der Einfluss der Düsengeometrie und der Einfluss des statischen Mixers im Mischblock untersucht.

Neben diesen Erkenntnissen konnten wichtige Informationen und Zusammenhänge für die Trocknung ethanolischer Extrakte ausgearbeitet werden. Es konnte erfolgreich nachgewiesen werden, dass sich das PGSS-Verfahren zur Verarbeitung solcher Extrakte eignet.

Dagegen führte die hohe Klebrigkeit des Extraktes beim CPF-Verfahren zu Problemen. Da für diese Problemstellung im Laufe des Projekts keine Lösung gefunden werden konnte, musste auf CPF-Versuche im weiteren Projektablauf verzichtet werden.

## Extraktanalyse

Die Vorversuche verdeutlichten, wie wichtig die Kenntnis der Stoffdaten für die Weiterverarbeitung des entsprechenden Stoffsystems ist. Daher wurde das zu verkapselnde Blaubeerextrakt auf seine Viskosität und Dichte untersucht. Neben der klassischen Untersuchung mit Viskosimeter und Pyknometer kam auch ein akustischer Levitator zum Einsatz, mit welchem Stoffwerte von Substanzen berührungsfrei gemessen werden können. Die von RISE zur Verfügung gestellten Extrakte wiesen eine Dichte zwischen 845 und 873 kg/m<sup>3</sup> auf.

Bei den Viskositätsmessungen fielen Abweichungen in der gemessenen mittleren

dynamischen Viskosität  $\eta$  mit dem Levitator (5,2 mPas) und dem Rotationsviskosimeter (3,4 mPas), auf. Diese Beobachtung könnte auf eine Verdampfung von Ethanol während der Levitation zurückzuführen sein. Da der Feststoffanteil im Tropfen zurückbleibt und einen zunehmenden größeren Anteil am Tropfen ausmacht, steigt die Viskosität des Tropfens an.

Die Versuche mit Tormentill haben gezeigt, dass schon geringste Unterschiede in der Zusammensetzung zu erheblichen Unterschieden in der Verarbeitung führen können. Die genauen Parameter und Auswirkungen bei den Vorversuchen zur Sprühtrocknung und beim PGSS-Verfahren, sowie die genauen Ergebnisse der Stoffdatenmessungen können den jeweiligen Zwischenberichten entnommen werden.

## Verkapselungsversuche

Für die Herstellung von Mikrokompositen bzw. Mikrokapseln wurden verschiedene Hüllmaterialien untersucht. Die Anforderungen waren dabei: Mischbarkeit mit Ethanol, lebensmittelgeeignet und in flüssiger Form verfügbar. Drei verschiedene Substanzen erwiesen sich als geeignet: Maltodextrin, das Pflanzenfett Revel A der Firma *Loders Croklaan B.V.*, und das Co-Polymer Eudragit L-100/55 der Firma *Evonik*.

Für die Verkapselungsversuche wurde bei der Firma *NATEX Prozesstechnologie* 320 Liter an ethanolischem Extrakt bestellt, da die Produktionskapazitäten des RISE für die benötigten Mengen nicht ausreichten.

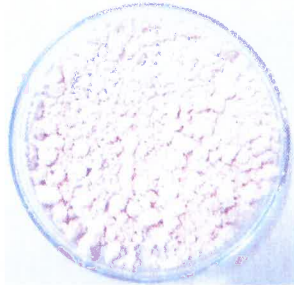
## Sprühtrocknungsversuche

Da Maltodextrin aufgrund seiner chemischen Struktur die Anforderung einer Löslichkeit in Ethanol nicht erfüllt, musste das Extrakt zu einem sehr hohen Anteil mit Wasser verdünnt werden. Als Prozessgas wurde nach vier Versuchen mit Kohlenstoffdioxid, Luft gewählt, da eine ausreichende Sicherheit gegen die Explosionsgrenze von Ethanol gewährleistet werden konnte. Insgesamt wurden sieben Sprühversuche mit Maltodextrin als Trägerstoff durchgeführt, welche zu dem Ergebnis führten, dass es zwar technisch möglich ist, Mikrokapseln aus Maltodextrin und Blaubeerextrakt herzustellen, jedoch die großen Menge Wasser die zur Verdünnung nötig ist, diese Art der Verkapselung nicht konkurrenzfähig erscheinen lässt.



Daraufhin wurden 13 Versuche mit einem Gemisch aus Eudragit, welches in Ethanol löslich ist und kleineren Mengen Citronensäuretriethylester und Magnesiumsilikathydrat, so, wie es der Hersteller empfiehlt, durchgeführt. Hierbei erwiesen sich die in den Vorversuchen erlangten Erkenntnisse als hilfreich.

Abhängig von den gewählten Prozessparametern ergeben unterschiedliche Partikeleigenschaften. Dabei eignet sich zur Herstellung von Partikeln, die eine gute Dosierbarkeit und Fließfähigkeit aufweisen sollen, für das vorliegende Gemisch nur die Verwendung der Zweistoffdüse. Abhängig von weiteren Prozessparametern ergeben sich Partikel, die eine hellrosa Färbung aufweisen und eine durchschnittliche Partikelgröße von  $d_{50} = 16,3 \mu\text{m}$  besitzen. Dabei beträgt die mittlere Schüttdichte der entnommenen Partikel  $\rho_{\text{Sch}} = 184,5 \text{ kg/m}^3$  und die durchschnittliche Restfeuchte liegt bei  $F = 1,86 \%$ .



*Abbildung 2: Erscheinungsbild der Eudragit / Blaubeer - Komposite*

Das Erscheinungsbild der mit Sprühtrocknung hergestellten Komposite ist in Abbildung 2 dargestellt

## PGSS Versuche

Vorversuche zeigten, dass es wie bei der Sprühtrocknung, technisch gesehen möglich ist, Partikel aus Maltodextrin und Blaubeerextrakt mit dem PGSS-Verfahren herzustellen.

Bedingt durch die hohe Menge an Wasser, die zu einer Löslichkeit von Maltodextrin im Extrakt führt, wurde im Laufe des Projekts aus anlagentechnischen Gründen auf die weitere Produktion von Partikeln mit Maltodextrin als Hüllmaterial verzichtet.

Auch wurden keine Versuche mit Eudragit durchgeführt, da es laut Angaben des Herstellers zu einer Reaktion zwischen dem Co-Polymer und dem ebenfalls zugeführten Kohlenstoffdioxid kommen kann.

Zur Verkapselung wurde hier das Palmfett Revel A eingesetzt. Der Schmelzpunkt liegt bei 55 °C, so dass es bei entsprechend beheiztem Vorlagebehälter flüssig und vollständig gemischt mit dem Blaubeerextrakt vorliegt. Abhängig von den gewählten Prozessparametern ergeben sich somit für das verwendete Gemisch aus Blaubeerextrakt und dem pflanzlichen Fett Revel A, Partikel, die eine leichte, beige Färbung aufweisen und eine durchschnittliche Partikelgröße von  $d_{50} = 6,7 \mu\text{m}$  besitzen. Die Schüttdichte der Partikel beträgt dabei durchschnittlich  $\rho_{\text{Sch}} = 108,2 \text{ kg/m}^3$  und die mittlere Restfeuchte der Partikel ergibt sich zu  $F = 0,69 \%$ .

Das Erscheinungsbild der mit dem PGSS Verfahren hergestellten Komposite ist in Abbildung 3 dargestellt

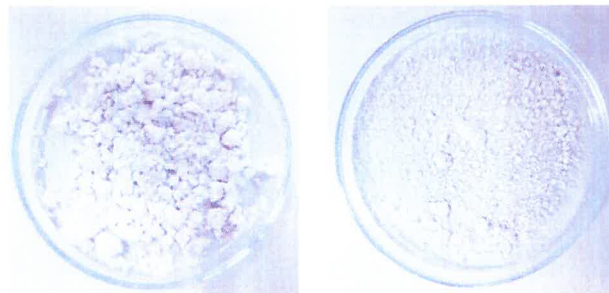


Abbildung 3: Erscheinungsbild der mit PGSS hergestellten Komposite aus Maltodextrin bei Vorversuchen (links) und Revel A (rechts) mit Blaubeerextrakt

Die genauen Prozessparameter und Auswirkungen auf die Partikeleigenschaften sind diesem Bericht angehängt oder können dem entsprechenden Zwischenbericht entnommen werden.

## Zusammenfassung

Es konnte erfolgreich gezeigt werden, dass aus Pressrückständen gewonnener Blaubeerextrakt, welcher ansonsten als Abfall deklariert werden würde, durch Sprühtrocknung und durch das PGSS-Verfahren in eine lagerstabile Form überführt werden kann. Dabei werden die bioaktiven Substanzen von verschiedenen Hüllmaterialien vor Umwelteinflüssen und Oxidation geschützt. Diese Steigerung in der Wertschöpfungskette stellt auch den Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des PTBLE dar.

Je nach Anwendung und Anforderungen können die Eigenschaften dieser Partikel durch die eingestellten Prozessparameter und die Wahl des Verfahrens beeinflusst werden. Wie die

Versuche zeigen, können mit dem PGSS-Verfahren kleinere Partikel als mit der Sprühtrocknung produziert werden.

Mit dem PGSS-Verfahren wird neben einer sehr geringen Partikelgröße die geringste Schüttdichte und Restfeuchte (Trägerstoff Revel A), erreicht. Die Feuchten liegen, wie in Tabelle 1 dargestellt, unter den Ergebnissen, die mittels Sprühtrocknung erzielt werden. Teilweise ergeben sich die beschriebenen Unterschiede im Partikelverhalten allerdings auch bereits aus den Eigenschaften der verwendeten Substanzen. Somit sind diese nicht zwangsläufig auf die beiden unterschiedlichen Sprühverfahren zurückzuführen.

*Tabelle 1: Vergleich der mittleren Partikeleigenschaften der durchgeführten Versuche*

Trägersubstanz	Partikeldurchmesser dm	Schüttdichte	Restfeuchte
	µm	kg/m <sup>3</sup>	%
Maltodextrin	16	338	4,4
Eudragit	16	185	1,9
Revel A	7	108	0,7

Um die Versuche durchführen zu können, waren intensive Vorversuche nötig, bei denen das Modellsystem Tormentill / Ethanol versprüht wurde. Des Weiteren wurden die verwendeten Extrakte bezüglich ihrer für die Versuche relevanten Stoffdaten vermessen.

Die Nutzung von Maltodextrin als Verkapselungssubstanz, erscheint bei den vergleichsweise hohen Ethanolgehalten des Extraktes und der erforderlichen Zugabe von Wasser, nicht sinnvoll und wurde daher im Projekt nach Vorversuchen nicht weiter verfolgt.

Auf Versuche mit dem CPF Verfahren musste verzichtet werden, da die Zusammensetzung des Extraktes keine Experimente mit diesem Prozess zuließ. Alternativ zu den CPF Versuchen wurde der Sprühtrocknungsprozess getestet.

Alle hergestellten Partikel (AP3 RISE) wurden den Partnern für Versuche zur Verfügung gestellt.

## Verwertung und Veröffentlichungen

Die Ergebnisse des Gemeinschaftsprojekts wurden von den Beteiligten Instituten und Lehrstühlen in einer SUSFOOD Session auf der 31st European Federation of Food Science and Technology (EFFoST) Conference am 14. November 2017 in Sitges, Spanien vorgestellt.

Darüber hinaus entstanden die in Tabelle 2 aufgeführten Veröffentlichungen im Projektzeitraum in Zusammenarbeit mit ähnlichen Projekten.

*Tabelle 2 Liste der aus dem Projekt hervorgegangenen Veröffentlichungen*

L. Wollenweber, S. Kareth, M. Petermann. <i>Polymorphismus bei der Hochdruckverdüsung nach dem PGSS-Verfahren</i> . Chemie Ingenieur Technik 87(8):1072-1072, 2015
L. Wollenweber, S. Kareth, M. Petermann. <i>Polymorphic Transition of Lipid Particles obtained with the PGSS Process for Pharmaceutical Applications</i> . Elsevier, Journal of Supercritical Fluids, DOI: 10.1016/j.supflu.2017.06.009
S. Marcos, M. Meinecke, A. Kilzer, M. Petermann. <i>Study of L-L water-in-oil dispersions generated in SMX-Plus static mixers with dissolved CO<sub>2</sub> under high pressure</i> . Elsevier, Journal of Supercritical Fluids, DOI: 10.1016/j.supflu.2017.05.026

## Finanzielles

Das Erreichen des geplanten Vorhabenszieles wäre ohne den Einsatz von Bundesmitteln nicht möglich gewesen.

Aufgrund der Bundestagswahlen 2014 und der damit zusammenhängenden Erstellung der Haushalte kam es zu Verzögerungen bei der Antragsbewilligung in Deutschland. Daher wurde zum 20. Oktober 2014 ein Antrag auf vorzeitigen, förderunschädlichen Vorhabensbeginn gestellt. Diesem Antrag wurde stattgegeben. Der Vergleich der entstandenen Ausgaben mit dem verbindlichen Gesamtfinanzierungsplan und deren Begründungen ist diesem Bericht angehängen.

## Anhang B: Versuche Sprühtrocknung und PGSS

Tabelle 3: Übersicht der Sprühtrocknungs-Versuche mit Eudragit

Versuch	Zerstäuber- einheit	Massenstrom Druckluft	Druckniveau Druckluft	Pumpen Drehzahl	Austritts- Temperatur Sprühturm	dm	Schüttdichte	Restfeuchte
		kg/h	bar	U/min	°C	µm	kg/m <sup>3</sup>	%
S5	Rotationszerstäuber		6,0	15	70	900	92	2,3
S6	Zweistoffdüse	1,0	0,2	15	70	43	220	2,3
S12	Zweistoffdüse	11,0	1,5	15	70	5	212	2,0
S13	Zweistoffdüse	11,0	1,5	15	80	11	135	1,7
S14	Zweistoffdüse	11,0	1,5	15	90	46	56	1,8
S15	Zweistoffdüse	11,0	1,5	15	50	6	211	2,2
S16	Zweistoffdüse	11,0	1,5	15	60	10	193	2,0
S17	Zweistoffdüse	14,0	2,0	15	60	11	182	1,6
S18	Zweistoffdüse	8,5	1,0	15	60	10	196	1,8
S19	Zweistoffdüse	8,0	1,5	15	60	9	244	1,9
S20	Zweistoffdüse	12,0	1,5	15	60	11	195	1,5

Tabelle 4: Übersicht der PGSS-Versuche mit Revel A

Versuch	Vorexpan- sionsdruck	LMV	Sprühturm- temperatur	dm Sprühturm	dm Filter	Schüttdichte Sprühturm	Schüttdichte Filter	Restfeuchte Sprühturm	Restfeuchte Filter
	bar		°C	µm	µm	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	%
P3	75	20	27	5	5	70	70	0,6	0,5
P4	75	15	27	4	5	83	104	0,8	0,8
P5	75	6	40	12	8	173	142	0,8	0,7
P6	75	6	27	8	8	129	170	0,7	0,7
P7	75	6	40	66	17	213	173	0,8	0,8
P8	105	6	27	Keine vollständige Trocknung möglich					
P9	105	15	37	7	9	117	128	0,7	0,9
P10	105	15	32	5	6	74	97	0,6	0,7
P11	105	15	27	4	5	70	82	0,8	0,6
P12	105	6	40	8	7	113	109	0,7	0,7

## Anhang C: Fortschreibung des Verwertungsplan Verkapselung von Pflanzenextrakten mittels der Hochdruckverfahren PGSS (Particles from Gas Saturated Solutions) und CPF (Concentrated Powder Forms)

Das Sustainable & Healthy Projekt führte zu einer engen Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Lehrstühlen im Bereich Maschinenbau, Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie unterschiedlicher europäischer Universitäten und Forschungsinstitute. Durch den internationalen Background dieses Forschungsprojekts entwickelten sich interessante Ansätze für eine weitere Vertiefung der Zusammenarbeit und Entwicklung neuer Projekte.

Der gemeinsame Workshop (31st EFFoST Conference), gemeinsame Messebesuche (Achema, Anuga Foodtech) und das Nutzen von Synergieeffekten, wie die gegenseitige Vermittlung von wirtschaftlichen und industriellen Kontakten, war hilfreich für jeden der internationalen Partner.

Zwei Masterarbeiten wurden im Rahmen dieses Projektes an der RUB erstellt. Weitere Projekte im Rahmen der Stabilisierung von bioaktiven Substanzen aus biologischen Nebenprodukten könnten bald realisiert werden.

Neben Extrakteuren sind auch mittelständische Unternehmen aus der Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie an einer potentiellen Zusammenarbeit interessiert.

Dieses Projekt hat die Machbarkeit der Aufwertung eines vermeintlichen Abfallproduktes unter Beweis gestellt. Ähnliche Vorhaben ließen sich mit der Rückgewinnung von Wertstoffen aus Rückständen von Algen, Aloe Vera, Oliven oder beispielsweise Weizenstroh zur Verarbeitung im Kosmetik- und /oder Nahrungsmittelbereich realisieren. Weitere Versuchsreihen zur wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit und zur Verbraucherakzeptanz müssten nun den über die Realisierungschancen weiterer Projekte in diesem Bereich entscheiden.