

An die  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
An der Bornau 2

**49090 Osnabrück**



## **Abschlussbericht**

von

Dr. Peter Prochnow (ACMOS)  
Dr. Holger Klyszcz-Nasko (ACMOS)  
Uwe Kroll (ACMOS)  
Bernd Perplies (ACMOS)  
Britta Lamping (ACMOS)  
Dr. Karsten Köhler (LVT)  
Dr. Barbara Freudig (LVT)  
Heinz Eggersgluß (UTEC)

Aktenzeichen 29914-21/2	Bewilligungsempfänger <b>ACMOS CHEMIE KG</b> Industriestr. 49 28199 Bremen	
Projekttitel Innovative Ideen zur Energieersparnis beim Schmelzemulgieren von Trennmitteln		
Projektbeginn 01.03.2012	Projektlaufzeit bis 28.02.2013	Berichtszeitraum 01.03.2012 - 28.02.2013

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



<b>Az</b>	<b>29914</b>	<b>Referat</b>	<b>21/2</b>	<b>Fördersumme</b>	<b>118.690,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>	Innovative Ideen zur Energieersparnis beim Schmelzemulgieren von Trennmitteln				
<b>Stichworte</b>	Verfahren, Kunststoff, Trennmittel, Emulgiertechnik				
<b>Laufzeit</b>	<b>Projektbeginn</b>	<b>Projektende</b>	<b>Projektphase(n)</b>		
<b>12 Monate</b>	<b>01.03.2012</b>	<b>28.02.2013</b>	<b>1</b>		
<b>Zwischenberichte:</b>	alle 6 Monate Kurzbericht				
<b>Bewilligungsempfänger</b>	<b>ACMOS CHEMIE KG</b> Industriestr. 49 28199 Bremen			<b>Tel</b>	<b>0421/5189-0</b>
				<b>Fax</b>	<b>0421/511415</b>
				<b>Projektleitung</b> Hr. Dr. Klyszcz-Nasko	
				<b>Bearbeiter</b> Hr. Dr. Prochnow	
<b>Kooperationspartner</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bereich Lebensmittelverfahrenstechnik (LVT) als Unterauftragnehmer</li> <li>• Bremer Energieberatungsunternehmen UTEC GmbH</li> </ul>				
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>					
<p>Die bei der Formgebung von Kunststoffbauteilen verwendeten Formen werden zur einwandfreien Entformung der Bauteile mit Trennmitteln versehen. Wässrige Trennmittlemulsionen bestehen meist aus Aktivstoffen, z.B. Silikone, Fette und/oder Wachse mit Wasser als Trägermedium. Die wässrigen Formulierungen werden häufig mit Hilfe des energieaufwendigen Phaseninversionstemperaturverfahrens (PIT-Verfahren) hergestellt. Dazu wird zunächst der Aktivstoff zusammen mit den Emulgatoren aufgeschmolzen. Ein Wasseranteil muss erhitzt werden um eine vorzeitige Erstarrung der aufgeschmolzenen Aktivstoffe während des Emulgierprozesses zu verhindern. Der fertige Ansatz muss zur Sicherstellung einer einheitlichen Produktqualität vor der Abfüllung mittels einer energieaufwändigen Kältetechnik herunter gekühlt werden. Zur Herstellung von Emulsionen wird also eine große Menge an Energie für das Aufschmelzen und das spätere Abkühlen benötigt.</p> <p>Ziel dieses beantragten Projektes war es, einen neuartigen Emulgierprozess mit Hilfe der Simultanen Emulgier- und Mischblende (SEM-Technologie) zur Herstellung von Trennmittlemulsionen zu entwickeln, der sowohl effizienter als auch umweltfreundlicher ist.</p>					
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>					
<p>Zunächst wurde die im etablierten PIT-Verfahren benötigte Energiemenge zusammen mit dem Energieberatungsunternehmen UTEC GmbH (im Unterauftrag) erfasst. Dabei wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter, wie z.B. die Variation der verwendeten Heißwassermenge, untersucht. Anhand eines darauf basierenden besseren Prozessverständnisses wurde mit Hilfe der simultane Emulgier- und Mischblende (SEM-Blende) ein energieeffizienterer Prozess für die Herstellung von Trennmitteln mit Hilfe einer kleinen Laboranlage entwickelt. Dazu wurde das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bereich Lebensmittelverfahrenstechnik (LVT) als Unterauftragnehmer für die Entwicklung dieses neuartigen Emulgierprozesses in die Entwicklungsarbeit mit einbezogen. In Technikums- und Feldversuchen wurde die technische Verwendbarkeit der über die neuen Herstellungsverfahren erzeugten Trennmittel geprüft.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190					

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Ziel dieses Projektes war es, einen neuen Emulgierprozess zu etablieren, der sowohl effizienter als auch umweltfreundlicher ist. Das Projekt konnte erfolgreich beendet und wesentliche Erkenntnisse für das geplante Folgeprojekt gemacht werden.

In diesem Projekt konnte für ein ausgewähltes Modellsystem allein durch Modifikation des Herstellungsprozesses der Energieverbrauch des PIT-Verfahrens für reguläre Produktionschargengrößen um ca. 8% reduziert werden.

Das Projekt bewies, dass die SEM-Technologie mit der Betriebsweise „Hot-in-Cold“ geeignet ist, Trennmittel herzustellen. Die hergestellten Proben zeigten im Anwendungstest vergleichbare Resultate wie über das bei AC MOS etablierte PIT-Verfahren. Im Labormaßstab verbraucht die SEM-Technologie 22% weniger Energie als das herkömmliche PIT-Verfahren. Selbst wenn man den Energiebedarf des in diesem Projekt optimierten PIT-Verfahrens mit der SEM-Technologie vergleicht (zugrunde liegen extrapolierte Stromverbräuche entsprechender Produktionsanlagen), erhält man eine Reduktion von ca. 30% der benötigten Energie. Das Verfahren ist nicht nur auf die Herstellung von Trennmitteln beschränkt, werden doch jährlich allein in Deutschland ca. 1.000.000 t an Wachs- und Paraffinemulsionen hergestellt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnte in einer erweiterten Ökobilanzierung gezeigt werden, dass es aus wirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht sinnvoll wäre, über neue Distributionswege nur noch Rohstoffkonzentrate direkt in die weltweiten Märkte zu transportieren und die Trennmittel direkt vor Ort zu produzieren. Die für den Transport benötigte Energiemenge ließe sich hiermit um bis zu 90% reduzieren.

Mit Hilfe einer Pilotanlage, die noch im Rahmen dieses Projektes geplant wurde, soll in einem Folgeprojekt diese Anlage zunächst konstruiert und gebaut werden. Anschließend soll damit die Herstellung von Trennmitteln mit der SEM-Technologie eingehend untersucht und optimiert werden. Z.B. soll untersucht werden, ob weitere Energieeinsparungen unter Verwendung des neuen Verfahrens möglich sind. Zudem soll geprüft werden, ob nicht stabile Emulsionen mit reduziertem Lösungsmittel- und Emulgatoranteil hergestellt werden können.

Die erfolgreiche Realisierung dieses Projektes ist ein gutes Beispiel für produktionsintegrierten Umweltschutz in einem Industriebereich der Kunststoffverarbeitung, wo dies bislang nur in einzelnen Segmenten möglich ist.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Während der Projektlaufzeit wurden keine Veröffentlichungen publiziert oder Projektergebnisse auf Messen beworben. Es ist geplant, die Projektergebnisse erstmals auf Fachausstellungen gemeinsam mit der DBU zu präsentieren.

## ***Fazit***

Das Projekt konnte sehr erfolgreich beendet werden und legt einen Grundstein für eine nachhaltige Umweltentlastung. Die erfolgreiche Realisierung dieses Projektes ist ein gutes Beispiel für produktionsintegrierten Umweltschutz in einem Industriebereich der Kunststoffverarbeitung, wo dies bislang nur in einzelnen Segmenten möglich ist.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>Verzeichnis von Bildern und Tabellen</b>	<b>5</b>
<b>Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen</b>	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>
<b>Einleitung</b>	<b>10</b>
<b>Hauptteil</b>	<b>13</b>
<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>40</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>41</b>

## Verzeichnis von Bildern und Tabellen

### Bilder

Bild 1	Trennmittelapplikation auf einer Form per Roboter
Bild 2	Kunststoffeintragung in die Form
Bild 3	Entformung des Bauteils nach der Aushärtung des Kunststoffes
Bild 4	Grundprinzip des Schmelzemulgierprozesses
Bild 5	Beispiele für Rotor-Stator-Maschinen
Bild 6	Prinzip eines Hochdruckhomogenisators; Beispiele für Dispergiereinheiten
Bild 7	Mischkammer der SEM-Technologie
Bild 8	Mögliche Betriebsweisen der SEM-Blende
Bild 9	Temperaturverteilung in einer SEM-Blende: In der Nachlaufströmung der Blende ist die Temperatur so niedrig, dass Tropfen schnell erstarren
Bild 10	Elektrische Leistungsaufnahme und Behältertemperatur während des Turbinenbetriebes für das Modellsystem 37-5068. Nicht gezeigt ist das Herunterkühlen auf die Abfülltemperatur von 25°C
Bild 11	Elektrische Leistungsaufnahme und Behältertemperatur während des Turbinenbetriebes für das Modellsystem X5-485. Nicht gezeigt ist das Herunterkühlen auf die Abfülltemperatur von 25°C
Bild 12	Endenergiebilanz der Varianten A und B nach Energieeinsparung (37-5068 <sub>Energieeinsparung</sub> )
Bild 13	Endenergiebilanz der Varianten A und B nach Kombination aus Energieeinsparung und Prozessoptimierung (37-5068 <sub>Energieeinsparung + Prozessopt.</sub> )
Bild 14	Prinzip der SEM-Technologie
Bild 15	Prinzip der Dispergiereinheit beim „Hot-in-Cold“-Verfahren
Bild 16	Partikelgrößenverteilung von instabilen und lagerstabilen Chargen des Modellsystems 37-5068
Bild 17	Teilchengrößenverteilung des 37-5068 mit der SEM-Betriebsweise „Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“ (Konzentration der Rohemulsion analog dem PIT-Verfahren)
Bild 18	Teilchengrößenverteilung bei Herstellung des 37-5068 mit der SEM-Betriebsweise „hochkonzentrierte Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“
Bild 19	Fließkurven der beiden Betriebsweisen „hochkonzentrierte Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“, „Hot-in-Cold“ verglichen mit dem PIT-Verfahren
Bild 20	Druckabhängigkeit der erzielten Stabilitäten bei Herstellung des 37-5068 mit der SEM-Betriebsweise „Hot-in-Cold“
Bild 21	Teilchengrößenverteilung bei Herstellung des 37-5068 mit einer zweistufigen Dispergiereinheit
Bild 22	Abschätzung des Einsparpotenzials durch Transport des reinen Aktivstoffs und Fertigung der Dispersion vor Ort
Bild 23	Skizzierter Aufbau der geplanten Pilotanlage

## Tabellen

Tabelle 1	Energie- und CO <sub>2</sub> -Bilanzen „Variante A“ Produkt 37-5068
Tabelle 2	Energie- und CO <sub>2</sub> -Bilanzen „Variante B“ Produkt 37-5068
Tabelle 3	Energie- und CO <sub>2</sub> -Bilanzen „Variante A“ Produkt X5-485
Tabelle 4	Energie- und CO <sub>2</sub> -Bilanzen „Variante B“ Produkt X5-485
Tabelle 5	Mögliche Brennstoffeinsparung durch Dampfkesselsanierung
Tabelle 6	Benötigte Energiemenge pro Tonne Produkt nach herkömmlichen (37-5068), Verfahren, nach energieeingsparten Verfahren (37-5068Energieeinsparung) sowie nach einergieeingesparten Verfahren kombiniert mit Prozessoptimierungsmaßnahmen (37-5068Energieeinsparung + Prozessopt.)
Tabelle 7	Gegenüberstellung der Gesamtenergieverbräuche der Laborfertigung von 1 kg 37-5068 mittels PIT und SEM-Verfahren (Betriebsweise „Hot-in-Cold“)
Tabelle 8	Gegenüberstellung der Gesamtenergieverbräuche nach Variante A der großtechnischen Fertigung von 1 Tonne 37-5068 mittels prozessmodifiziertem PIT- und SEM-Verfahren (Betriebsweise „Hot-in-Cold“)

## Alphabetisches Verzeichnis der verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Definitionen

Abb.	Abbildung
AZ	Aktenzeichen
AP	Arbeitspaket
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	zirka
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CKW	Chlorkohlenwasserstoffe
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrie Norm
€	Euro
EN	Europäische Norm
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FuE	Forschung und Entwicklung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Gew.%	Gewichtsprozent
h	Stunde
i.a.	im allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
ISO	International Organisation of Standardisation
i.w.	im wesentlichen
KG	Kommanditgesellschaft
kg	Kilogramm
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
L	Liter
LVT	Bereich Lebensmittelverfahrenstechnik des Instituts für Bio- und Lebensmitteltechnik des Karlsruher Instituts für Technologie
m/s	Meter pro Sekunde
O/W	Öl-in-Wasser-Emulsion
p	Druck
P <sub>Umgebung</sub>	Umgebungsdruck
PIT	Phaseninversionstemperatur

Prozessopt.	Prozessoptimierung
PUR	Polyurethan
QS	Qualitätssicherung
SEM	Simultanes Emulgieren und Mischen
s.o.	siehe oben
sog.	so genannt
t	Tonnen
T	Temperatur
$T_{\text{Misch}}$	Mischtemperatur
$T_{\text{S}}$	Temperatur der dispersen Phase (Schmelzen)
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
u.U.	unter Umständen
VOC	volatile organic compounds (flüchtige organische Substanzen)
W/O	Wasser-in-Öl-Emulsion
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
z.Z.	zur Zeit
%	Prozent



## Zusammenfassung

Ziel dieses beantragten Projektes war es, einen neuartigen Emulgierprozess mit Hilfe der Simultanen Emulgier- und Mischblende (SEM-Technologie) zur Herstellung von Trennmittelemulsionen zu entwickeln, der sowohl effizienter als auch umweltfreundlicher ist.

Die bei der Formgebung von Kunststoffbauteilen verwendeten Formen werden zur einwandfreien Entformung der Bauteile mit Trennmitteln versehen. Wässrige Trennmittelemulsionen bestehen meist aus Aktivstoffen, z.B. Silikone, Fette und/oder Wachse mit Wasser als Trägermedium. Die wässrigen Formulierungen werden meist mit Hilfe des energieaufwendigen Phaseninversionstemperaturverfahrens (PIT-Verfahren) hergestellt. Dazu wird zunächst der Aktivstoff zusammen mit den Emulgatoren aufgeschmolzen. Ein Wasseranteil muss erhitzt werden, um eine vorzeitige Erstarrung der aufgeschmolzenen Aktivstoffe während des Emulgierprozesses zu verhindern. Der fertige Ansatz muss zur Sicherstellung einer einheitlichen Produktqualität vor der Abfüllung mittels einer energieaufwändigen Kältetechnik herunter gekühlt werden. Zur Herstellung von Emulsionen wird also eine große Menge an Energie für das Aufschmelzen und das spätere Abkühlen benötigt.

Zunächst wurde die im etablierten PIT-Verfahren benötigte Energiemenge zusammen mit dem Energieberatungsunternehmen UTEC GmbH (im Unterauftrag) erfasst. Dabei wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter, wie z.B. die Variation der verwendeten Heißwassermenge, untersucht. Aufgrund der durchgeführten Optimierungsmaßnahmen konnte für reguläre Produktionschargengrößen der Energieverbrauch des PIT-Verfahrens um ca. 8% reduziert werden.

Anhand eines darauf basierenden besseren Prozessverständnisses wurde mit Hilfe der simultane Emulgier- und Mischblende (SEM-Blende) ein noch energieeffizienterer Prozess für die Herstellung von Trennmitteln mit Hilfe einer kleinen Laboranlage entwickelt. Dazu wurde das Institut für Bio und Lebensmitteltechnik Bereich I: Lebensmittelverfahrenstechnik (LVT) des KIT (Karlsruher Institut für Technologie) als Unterauftragnehmer für die Entwicklung dieses neuartigen Emulgierprozesses in die Entwicklungsarbeit mit einbezogen. In Technikums- und Feldversuchen wurde die technische Verwendbarkeit der über die neuen Herstellungsverfahren erzeugten Trennmittel geprüft.

Eine Energiebilanzierung zeigte dabei, dass im Labormaßstab die SEM-Technologie im Vergleich zum herkömmlichen PIT-Verfahren 22% weniger Energie benötigt. Vergleicht man für reguläre Produktionschargengrößen den Energieverbrauch des optimierten PIT-Verfahrens mit extrapolierten Verbräuchen entsprechender Produktionsanlagen der SEM-Technologie, erhält man eine Reduktion des Energieverbrauchs von knapp 30%.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnte darüber hinaus in einer erweiterten Ökobilanzierung gezeigt werden, dass es aus wirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht Sinn macht, über neue Distributionswege nur noch Rohstoffkonzentrate in die weltweiten Märkte zu transportieren und die Trennmittel direkt vor Ort zu produzieren. Die für den Transport benötigte Energiemenge ließe sich so um 90% reduzieren.

Mit Hilfe einer Pilotanlage, die noch im Rahmen dieses Projektes geplant wurde, soll in einem Folgeprojekt diese Anlage zunächst gebaut und damit die Herstellung von Trennmitteln mit der SEM-Technologie eingehend untersucht und optimiert werden. Z.B. soll untersucht werden, ob weitere Energieeinsparungen unter Verwendung des neuen Verfahrens möglich sind.

Das Projekt konnte erfolgreich beendet werden und legt einen Grundstein für eine nachhaltige Umweltentlastung. Die erfolgreiche Realisierung dieses Projektes ist ein gutes Beispiel für produktionsintegrierten Umweltschutz in einem Industriebereich der Kunststoffverarbeitung, wo dies bislang nur in einzelnen Segmenten möglich ist.

## Einleitung

Bei der Formgebung von Kunststoffteilen werden in der Großserienfertigung i.d.R. metallische Formen eingesetzt, die zur einwandfreien Entformung der Teile mit Trennmitteln versehen werden müssen [U96]. Nur mit dem Einsatz solcher Trennmittelsysteme können die gewünschten Oberflächeneigenschaften eingestellt und reibungslose Produktionszyklen bei guten Werkzeugstandzeiten gewährleistet werden [KW99]. Trennmittelsysteme werden in Form von Lösungen oder Dispersionen üblicherweise auf die Oberfläche der Formteilwerkzeuge aufgesprüht [U96]. Diese Trennmittelsysteme bestehen aus trennaktiven Wirkstoffen und einem Trägermedium, i.d.R. organischen Lösemitteln oder Wasser.

In sehr vielen Produktbereichen, bei denen das Thema der Entformbarkeit wichtig ist, hat ACMOS in der Vergangenheit kontinuierlich FuE-Arbeiten durchgeführt. Über die Gewährleistung der zerstörungsfreien Entformung hinaus können mit dem Trennmittel auch spezielle Eigenschaften der Formteile beeinflusst werden, z.B. Optik, Haptik oder Zelligkeit.

Konventionelle wässrige Trennmittlemulsionen bestehen meist aus ca. 10 Gew.% Aktivstoffen, z.B. Silikone, Fette und/oder Wachse. Die wässrigen Formulierungen werden häufig mit Hilfe des energieaufwendigen PIT-Verfahren hergestellt. Alternativ lassen sich Emulsionen noch energieaufwendiger als Hochdruckemulsionen herstellen. Beim PIT-Verfahren wird zunächst der Aktivstoff zusammen mit den Emulgatoren aufgeschmolzen. Lösungsmittelanteile in der Schmelze helfen, die Schmelztemperatur und damit die notwendige Schmelzenergie zu senken (Steigerung der Energieeffizienz). Die zur Emulsionsherstellung nötige Wassermenge wird in zwei Teile geteilt.

Der erste Wasseranteil muss erhitzt (auf ca. 100°C) werden, um eine vorzeitige Erstarrung der aufgeschmolzenen Aktivstoffe während des Emulgierprozesses zu verhindern. Erfahrungsgemäß muss entsprechend der Menge an Aktivstoffen und Emulgatoren ein mindestens 3-facher Überschuss an Heißwasser bereitgestellt werden. Zunächst bildet sich während der langsamen Zugabe des erhitzten Wasseranteils unter starkem Rühren (Dispergieren) mit einem Rotor-Stator-System eine Wasser-in-Öl-Emulsion (W/O-Emulsion). Durch den mechanischen Energieeintrag bei diesem Fein-Emulgierschritt werden die Emulsionstropfen sehr fein zerkleinert. Während der Zugabe der restlichen Heißwassermenge kommt es zur Phaseninversion, wodurch eine Öl-in-Wasser-Emulsion (O/W-Emulsion) entsteht. Hier beträgt die Temperatur noch ca. 90-95°C.

Nach langsamer Zugabe des zweiten (kalten) Wasseranteils beträgt die Temperatur der nun fertig ausgebildeten Emulsion immer noch 60°C. Der fertige Ansatz muss abschließend für die Abfüllung und zur Sicherstellung einer einheitlichen Produktqualität mittels einer energieaufwändigen Kältetechnik auf ca. 25°C herunter gekühlt werden. Bei Unterschreiten der Erstarrungstemperatur des Aktivstoffs erstarren die Tropfen zu Partikeln, so dass aus der Emulsion eine Feststoffdispersion entsteht.

Je geringer der Lösemittelanteil in der Schmelze ist, desto höher muss die Schmelztemperatur und der Heißwasseranteil gewählt werden. Zur Herstellung von Emulsionen mit Hilfe des PIT-Verfahrens wird also eine große Menge an Energie für das Aufschmelzen und das spätere Abkühlen benötigt. Hierbei muss sogar die gesamte Wassermenge erhitzt werden.

Ziel dieses beantragten Projektes war es, einen neuartigen Emulgierprozess mit Hilfe der SEM-Technologie zur Herstellung von Trennmittlemulsionen zu entwickeln und zu etablieren, welcher sowohl effizienter als auch umweltfreundlicher ist. Die Firma ACMOS Chemie KG verfügt über langjährige Erfahrungen in der Trennmittelenwicklung und -herstellung und ist immer bestrebt, alternative energieeinsparende und damit für die Umwelt nachhaltige Emulgiertechniken zu entwickeln und auf Anwendbarkeit bei der Herstellung von Trennmitteln zu überprüfen. Maßgeblich wurde das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bereich Bio- und Lebensmitteltechnik (LVT) als Unterauftragnehmer für die Entwicklung des neuartigen Emulgierprozesses in die Entwicklungsarbeit mit einbezogen.

Der Lösungsansatz zur Realisierung des Projektziels lag in der Erfassung der im etablierten Prozess (PIT-Verfahren) benötigten Energiemenge. Hierbei stand die Fertigung der Emulsionen mit Hilfe der Rotor-Stator-Technik im Mittelpunkt der Arbeiten. Diese Arbeiten

wurden zusammen mit dem Antragsteller durch das Bremer Energieberatungsunternehmen UTEC GmbH (im Unterauftrag) durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter des etablierten Verfahrens auf den Energieverbrauch genauer untersucht. Basierend auf den gewonnenen Daten wurden dann unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt, um Energieersparnisse beim PIT-Verfahren zu realisieren. Die so modifizierten Emulsionen wurden ausgiebig analysiert und auf Ihre Anwendbarkeit im Praxistest überprüft. Damit wurde ermittelt, ob die Emulsionen den vorgegebenen Parametern der konventionellen Herstellungsmethode entsprechen.

Anhand eines dann besseren Prozessverständnisses wurde anschließend mit den neuen Techniken des LVT mit Hilfe einer kleinen Laboranlage in Karlsruhe ein energieeffizienterer Prozess für die Herstellung von Trennmittelprodukten entwickelt. Während in diesem beantragten Projekt die Lebensmittelverfahrenstechnik die Aufgabe hatte, anhand eines geeigneten Modellsystems das Verfahren bezüglich Energieaufwand und Produktqualität zu untersuchen und zu optimieren, wurden die Ergebnisse aus Modellversuchen bei ACMOS auf praxisrelevante Stoffsysteme übertragen und der Gesamtprozess betrachtet. In Technikums- und Feldversuchen wurde die technische Verwendbarkeit der über die neuen Herstellungsverfahren erzeugten Trennmittel im Praxistest überprüft. Auf Grundlage dieser Versuche wurden abschließend das herkömmliche und das Alternativverfahren mit Hilfe einer Energiebilanz miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass mit Hilfe der SEM-Technologie deutliche Energieeinsparungen möglich sind. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde in einer erweiterten Ökobilanzierung ermittelt, ob es sogar langfristig gesehen aus wirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht Sinn macht, über neue Distributionswege nur Rohstoffkonzentrate direkt in den Markt zu transportieren und direkt beim Kunden zu produzieren.

Diese Erkenntnisse dienten als Grundlage für die Planung einer Pilotanlage am Standort Bremen, welche in einem noch zu beantragenden Folgeprojekt zu bauen ist. Mit dieser Anlage soll dann die Herstellung von Trennmitteln im größeren Maßstab erfolgen und Modifikationen des neuen Prozesses eingehender untersucht und verbessert werden. In Technikums- und Feldversuchen soll dann die technische Verwendbarkeit der über die neuen Herstellungsverfahren erzeugten Trennmittel bei den Endverbrauchern unter Produktionsbedingungen geprüft werden.

Mit beiden Projekten, in denen alternative Verfahren zur Emulsionsherstellung intensiv erforscht werden, verbindet sich das Wissen von ACMOS über Einfluss und Bedeutung verschiedener Inhaltsstoffe in geeigneter Weise mit detaillierten Kenntnissen verschiedener Prozessvarianten des LVT.

Die Umweltrelevanz beider Forschungsvorhaben wird am Beispiel der Herstellung einer Trennmittlemulsion für die Produktion von Polyurethan-Formteilen für die Automobilindustrie deutlich. Die Ökobilanzierung (siehe bitte Kapitel 5.1) sagt eine mögliche Reduktion des Energieverbrauchs von ca. 40% durch die Verwendung der zu entwickelnden alternativen Emulgiertechnik voraus.

Darüber hinaus ließen sich durch diese neuartige Emulgiertechnik Trennmittel leicht direkt beim Trennmittelendverbraucher produzieren. Es müssten nur noch die Rohstoffe und nicht mehr die gesamten Trennmittlemulsionen energieaufwendig und damit ökonomisch und ökologisch belastend transportiert werden. Hier sagt die erweiterte Ökobilanzierung eine mögliche Verringerung von ca. 90% voraus. Durch den angestrebten Vermeidungseffekt werden nicht nur künftige Umweltauflagen unterschritten, sondern es werden darüber hinaus in den angestrebten Markt Bereichen bei erfolgreicher Projektdurchführung auch künftige Verschärfungen der Auflagen diese Fertigungsbereiche nicht gefährden.

Für ACMOS als marktführendes Unternehmen von Problemlösungen beim Einsatz von Trennmittelsystemen in der Kunststoffindustrie, soll im Anschluss an das Projekt dieser innovative Produktbereich weiter ausgebaut werden, um unter Beibehaltung der gegenwärtigen Wettbewerbsposition auch den zukünftigen ökologischen Anforderungen gerecht werden zu können. Grundsätzlich sollte das Projekt einen zusätzlichen Beitrag zum produktionsintegrierten Umweltschutz in einem bedeutenden Marktsegment der

Kunststoffindustrie leisten. Die Übertragung auf andere Anwendungsfälle (andere Kunststoffe im Formteilbereich) wird dieses Volumen noch erheblich erhöhen. Durch den angestrebten Vermeidungseffekt beim Einsatz von Lösemitteln werden nicht nur künftige Auflagen über VOC-Richtlinie und TA-Luft unterschritten, sondern es werden darüber hinaus in den angestrebten Marktbereichen bei erfolgreicher Projektdurchführung auch künftige Verschärfungen der Umweltauflagen diese Fertigungsbereiche nicht gefährdet.

Das Projekt wurde mit Bezug auf den Projektantrag in den Arbeitsschritten realisiert, die dem Hauptteil als Gliederung vorangestellt sind. Im Projektzeitraum verliefen die Arbeiten weitgehend nach dem im Rahmen der Antragstellung aufgestellten Projektplan. Im Folgenden werden zunächst die kontinuierlich durchgeführten FuE-Aktivitäten in den einzelnen Arbeitsschritten geschildert. Es folgt eine Zusammenfassung zum Projektverlauf und den erzielten Ergebnissen in praktischen Anwendungstests der mit dem PIT- und SEM-Blenden-Verfahren hergestellten Trennmittel in laufenden Produktionsprozessen. Beendet wird der Bericht mit einer Öko-Bilanz am Beispiel der erfolgreichen Anwendung in der Produktion einiger Kunden der ACMOS. Abschließend folgen ein Fazit und Ausblick über weitere geplante Aktivitäten nach Projektende.

# Hauptteil

## Ergebnisse Arbeitspakete

1. Bestandsaufnahme, Einführung zum Stand der Technik als Basis der Konzeptentwicklung
  - 1.1 Erfassung des Energieverbrauchs beim PIT-Verfahren
  - 1.2 Erstellung einer Energiebilanz über den bestehenden Prozess
  - 1.3 Umsetzung von Energiespar- und Prozessmodifikationmaßnahmen beim PIT-Verfahren
  - 1.4 Herstellung von Trennmittelemulsionen mit dem modifizierten PIT-Verfahren und Test der Anwendbarkeit im Praxistest
  - 1.5 Erstellung einer Energiebilanz für das modifizierte Verfahrens und Ermittlung des Einsparpotenzials
  - 1.6 Durch eine Marktanalyse kann abgeschätzt werden, wie viel Energie durch Umstellen der gesamten Produktion eingespart werden könnte
  - 1.7 Patent- und Literaturrecherche
2. Übertragung
  - 2.1 Übertragung der aus AP1 gewonnenen Erkenntnisse auf die SEM-Technologie anhand von zwei ausgewählten Modellsystemen
  - 2.2 Auswahl eines geeigneten Modellsystems und Charakterisierungsverfahrens
  - 2.3 Zusammenhang zwischen Charakterisierung der Produkte am Institut und Anwendungstests bei ACMOS
3. Verfahrensvergleich: Tropfenzerkleinerung bei beiden Verfahren
  - 3.1 Untersuchung der Tropfenzerkleinerung beim herkömmlichen PIT-Verfahren
  - 3.2 Untersuchung der Tropfenzerkleinerung beim SEM-Verfahren
4. Neues Verfahren
  - 4.1 Entwicklung der Verfahrensalternative für Trennmittelemulsionen durch Hochdruckhomogenisieren mit der SEM-Blende
    - 4.1.1 Sehr hochkonzentrierte Voremulsion mit Hilfe der SEM-Blende verdünnen
    - 4.1.2 Erhitztes Aktivstoff-Lösemittel-Gemisch direkt in kaltes Wasser dispergieren
  - 4.2 Test der Anwendbarkeit in Technikums- und Feldversuchen
5. Ökobilanzierung und Dokumentation
  - 5.1 Ökobilanzierung
  - 5.2 Ausarbeiten der theoretisch möglichen Prozesse und der damit verbundenen Energieersparnisse
  - 5.3 Planung Pilotanlage
  - 5.4 Dokumentation der FuE-Ergebnisse und Festlegung der Kriterien nach DIN EN ISO 9000 ff. für die QS nach Projektabschluss

## Ergebnisse Arbeitspakete

### 1. Bestandsaufnahme, Einführung zum Stand der Technik als Basis der Konzeptentwicklung

Das Gießen in Formen ist heute eine Standardmethode zur industriellen Formgebung von Bauteilen und Formkörpern aus Werkstoffen wie z.B. Metallen, Kunststoffen, Gummi oder Beton. Hierbei ist entscheidend, dass sich das Bauteil später problemlos aus der Form lösen lässt. Um dieses zu erreichen, müssen Trennmittel eingesetzt werden, welche es zusätzlich ermöglichen, die gewünschten Oberflächeneigenschaften der entformten Bauteile gezielt einzustellen. Ein bedeutendes Anwendungsbeispiel für versprühfähige Trennmittel ist die Polyurethanverarbeitung. Die Bilder 1-3 zeigen einen Entformungsprozeß nach Eintrennen der Form (Bild 1), dem Befüllen der Form mit Kunststoff (in diesem Fall Polyurethan, PUR; Bild 2) und dem Entnehmen des ausgehärteten Bauteils aus der Form (Bild 3).



*Abbildung 1-3: Trennmittelapplikation (links) auf einer Form, Kunststoffeintragung (mittig) und Entformung nach der Aushärtung des Kunststoffes (rechts)*

Konventionelle Trennmittelsysteme bestehen aus trennaktiven Wirkstoffen in einem Trägermedium, i.d.R. organischen Lösungsmitteln oder Wasser. Als Aktivstoffe kommen z.B. Silikone, Fette und/oder Wachse zum Einsatz. Der Aktivstoffgehalt beträgt bei konventionellen Trennmitteln bis zu 10 Gew.%. Emulsionen bestehen aus zwei nahezu ineinander unlöslichen flüssigen Phasen. Die innere, disperse Phase ist in Form von Tropfen in der äußeren kontinuierlichen Phase verteilt. Viele Eigenschaften einer Emulsion wie Farbe, Stabilität und Fließverhalten werden maßgeblich von der Größenverteilung der Tropfen bestimmt. Wässrige Trennmittelformulierungen werden meist mit Hilfe eines Phaseninversionstemperaturverfahrens (PIT-Verfahren, Schmelzemulgieren) hergestellt. Es gibt davon unterschiedlichste Varianten, mit denen solche Emulsionen hergestellt werden können, die alle einem ähnlichen Grundprinzip folgen. Im Fall der Trennmittelherstellung wird der Aktivstoff zusammen mit den Emulgatoren aufgeschmolzen. Lösungsmittelanteile in der Schmelze helfen die Schmelztemperatur zu senken und bewirken eine Steigerung der Energieeffizienz. Alle diese Komponenten in der Schmelze bilden die disperse Phase. Die kontinuierliche Phase bildet das Wasser, welches z.T. erhitzt wird, um eine vorzeitige Erstarrung der aufgeschmolzenen Aktivstoffe während der Emulsionsbildung zu verhindern.

Häufig wird der Emulgator auch in der kontinuierlichen Phase gelöst. Die disperse Phase wird dabei in die kontinuierliche Phase eingerührt und verteilt sich in Form großer Tropfen (Premix). Ist die disperse Phase bei Raumtemperatur fest, muss die Temperatur der Voremulsion oberhalb des Schmelzpunkts  $T_s$  liegen. Im eigentlichen Emulgierschritt werden die Tropfen der Voremulsion durch Eintrag mechanischer Energie fein zerkleinert. Die neu entstandene Grenzfläche muss durch Adsorption von Emulgatormolekülen stabilisiert werden. Das Emulgierergebnis bzw. die Tropfengrößenverteilung der Feinemulsion wird einerseits durch die eingetragene Energie pro Volumen und andererseits durch die Eigenschaften des Emulgators bestimmt. Je schneller die Emulgatormoleküle an der Grenzfläche adsorbieren, desto eher wird verhindert, dass neu entstandene Tropfen wieder zusammenfließen

(koaleszieren) und desto besser wird das Emulgierergebnis. Abschließend wird die Emulsion abgekühlt, so dass die Emulsionstropfen zu festen Partikeln erstarren. Die verwendeten Emulgatoren müssen sowohl in der Lage sein, die Emulsionstropfen gegen Koaleszenz zu stabilisieren als auch Aggregation der festen Partikeln in der Suspension zu verhindern. Der Gesamtenergieaufwand für den Schmelzemulgierprozess unterteilt sich in mechanische Energie, die für den Tropfenaufbruch benötigt wird und die Energie, die für das Erwärmen bzw. Abkühlen der Emulsion benötigt wird.

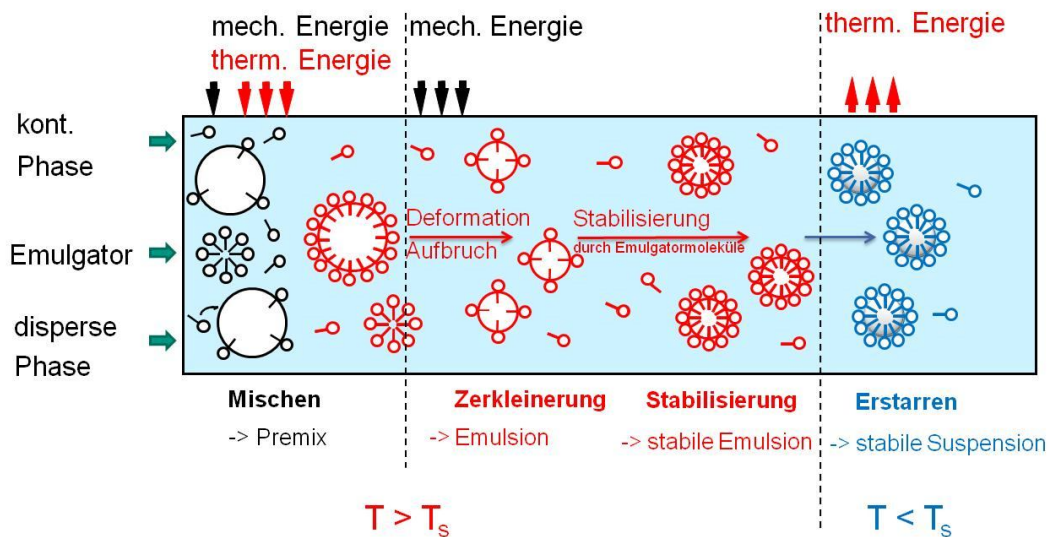


Abbildung 4: Grundprinzip des Schmelzemulgierprozesses

Für den Feinemulgierschritt können unterschiedliche Apparate eingesetzt werden. Am weitesten verbreitet sind Rotor-Stator-Maschinen (z.B. Zahnkranzdispergiermaschinen genannt, siehe Abb. 5) und Hochdruckhomogenisatoren. Ein kurzer Überblick über verschiedene Emulgierverfahren ist beispielsweise bei [FS08] zu finden.

### Rührbehälter    Kolloidmühlen    Zahnkranzdispergiermaschinen

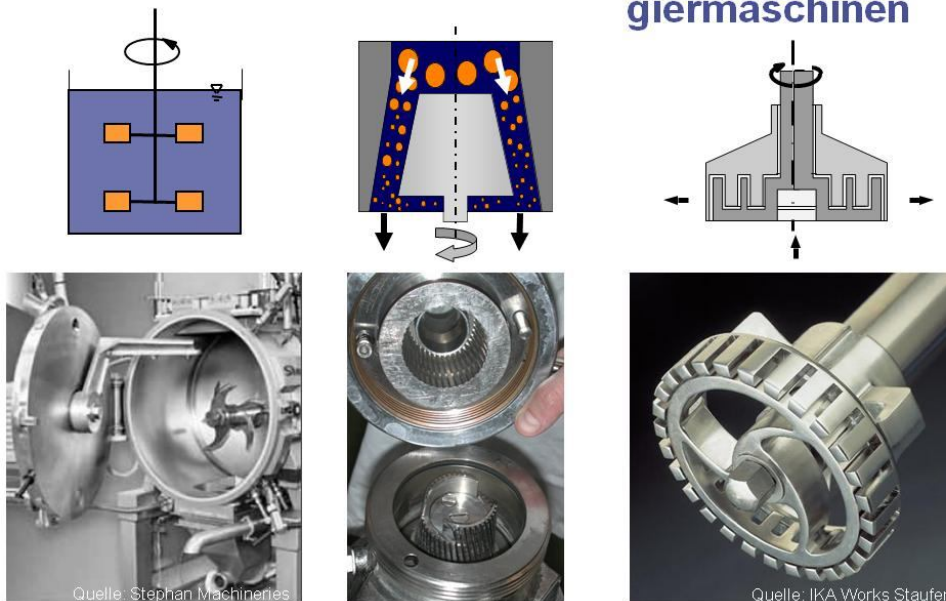


Abbildung 5: Beispiele für Rotor-Stator-Maschinen

In Rotor-Stator-Maschinen wird die für den Tropfenaufbruch benötigte Strömung zwischen unbeweglichen und rotierenden Teilen erzeugt. Zu den Rotor-Stator-Maschinen zählen sowohl

einfache Rührbehälter als auch Systeme, bei denen die Form von Rotor und Stator geometrisch genau aufeinander abgestimmt sind, um eine definierte Strömung zu erzeugen. Ein Hochdruckhomogenisator besteht im wesentlichen aus einer Hochdruckpumpe, die eine Voremulsion auf den gewünschten Homogenisierdruck verdichtet, und einer Zerkleinerungseinheit, in der die Tropfen deformiert und aufgebrochen werden. Im Vergleich zu Rotor-Stator-Maschinen werden höhere Leistungseinträge bei gleichzeitig kurzen Verweilzeiten erreicht. Dadurch können insbesondere in Emulsionen mit niedriger Viskosität kleine Tropfen und enge Tropfengrößenverteilungen erzeugt werden [K94]. Die Investitionskosten für Hochdruckhomogenisatoren sind allerdings deutlich höher. Je nach Anwendung können unterschiedliche Zerkleinerungseinheiten eingesetzt werden. Allen Zerkleinerungseinheiten ist gemein, dass die Voremulsion in einer Verjüngung auf Geschwindigkeiten bis zu mehreren 100 m/s beschleunigt wird. Dadurch bilden sich extreme Strömungsverhältnisse aus, die einen effizienten Tropfenaufbruch bewirken. Die einfachste Bauform, in der Tropfen effizient zerkleinert werden können, ist eine Lochblende [S98]. Die Tropfenzerkleinerung in Lochblenden und modifizierten Bauformen wurde in den letzten Jahren am LVT intensiv untersucht [TFS02, AFS04, FT05, AKSS08].

### SEM-Technologie

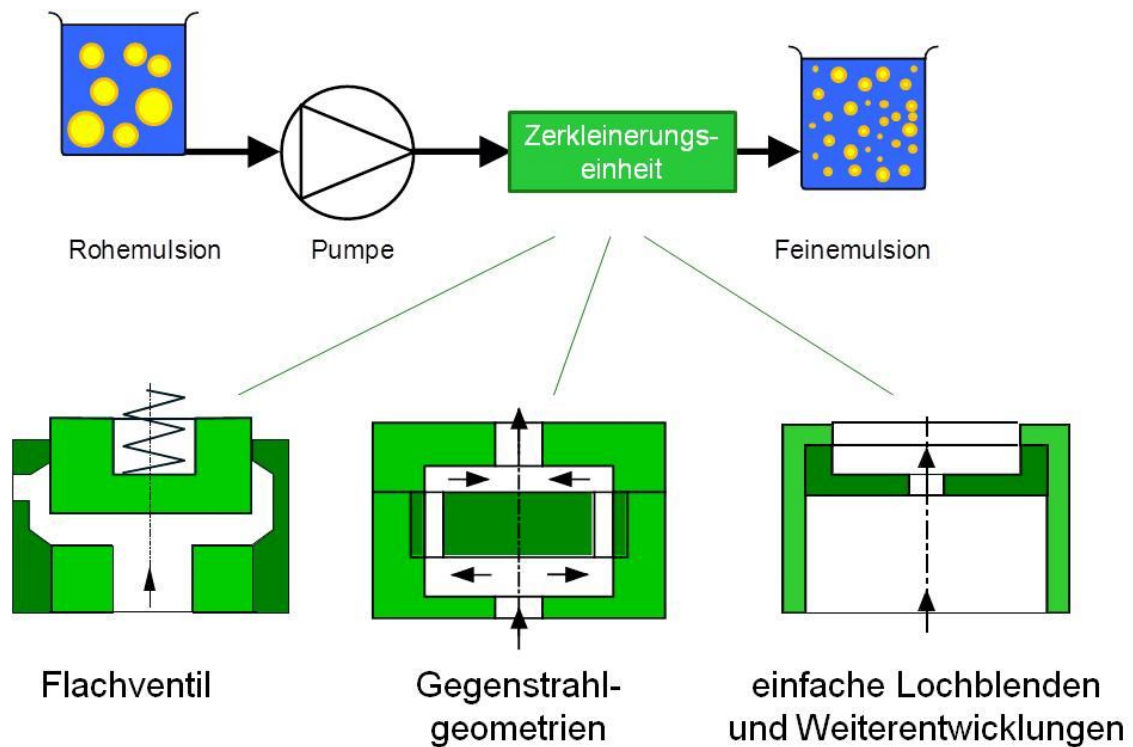


Abbildung 6: Prinzip eines Hochdruckhomogenisators; Beispiele für Dispergiereinheiten

Eine Besonderheit ist die am LVT entwickelte Simultane Emulgier- und Mischblende (SEM-Blende). Bei dieser Dispergiereinheit handelt es sich um eine Kombination aus einer einfachen Lochblende und einer nachgeschalteten Mischkammer (Abb. 7). Sie eignet sich besonders für die Teilstromhomogenisierverfahren, wie sie z.B. in der Milchindustrie etabliert sind [K02]. Bei der Milchverarbeitung wird eine aufkonzentrierte Voremulsion (Rahm), die nahezu die gesamte disperse Phase enthält, auf den gewünschten Homogenisierdruck verdichtet und durch die Blende gefördert (Blendenstrom). Unmittelbar nach Verlassen der Blendenbohrung wird die konzentrierte Emulsion mit kontinuierlicher Phase bzw. Emulgatorlösung (Magermilch) über den Mischstrom (Nebenstrom) vermischt. Wird Milch bzw. Rahm mit erhöhtem Fettgehalt homogenisiert, und der Fettgehalt anschließend mit Magermilch eingestellt, kann dadurch bis zu 90% der mechanischen Energie eingespart werden [K10]. Dieses Verfahren hat im Fall des Schmelzemulgierens zusätzlich den Vorteil, dass nur der Teilstrom, der die disperse Phase



enthält, auf Temperaturen oberhalb des Schmelzpunkts zu erwärmen ist, was in weiteren thermischen Energieersparnissen resultiert.

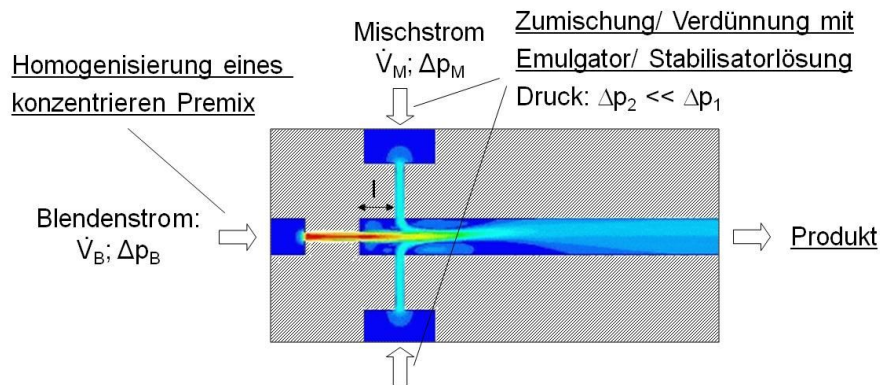


Abbildung 7: Mischkammer der SEM-Technologie [KAHSS07, KKSK08, K10]

Die SEM-Technologie bietet nicht nur die Möglichkeit der Teilstromhomogenisierung, bei der eine aufkonzentrierte Voremulsion durch die Blende (Blendenstrom) gefördert und anschließend verdünnt wird. Da viele Tropfen erst im Nachlauf der Blende zerkleinert werden, kann die Voremulsion auch über den Mischstrom (Nebenstrom) zugegeben werden. Das ist immer dann von Vorteil, wenn man vermeiden möchte abrasive oder zum Verkleben neigende Substanzen durch die Hochdruckpumpe und die Lochblende zu fördern.

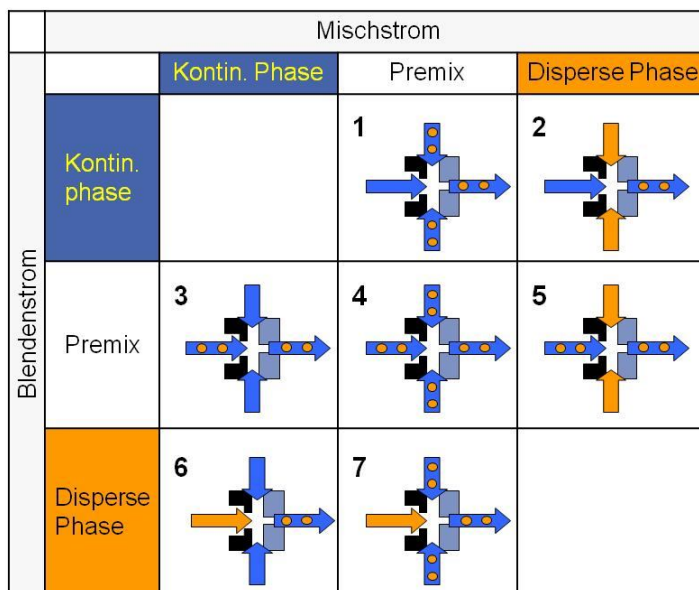


Abbildung 8: Mögliche Betriebsweisen der SEM-Blende [KAHSS07, KKSK08, K10]

Disperse und kontinuierliche Phase können der SEM-Blende auch getrennt zugeführt werden, ohne dass vorher ein Premix hergestellt wird. Für den Schmelzemulgierprozess bedeutet das, dass die reine disperse Phase erwärmt und über den Nebenstrom in der Mischzone hinter der Blende mit kalter kontinuierlicher Phase aus dem Blendenstrom vermischt werden kann. Alle möglichen Betriebsweisen einer SEM-Blende sind noch einmal in Abbildung 8 zusammengefasst.

Erstarren die Wachs- bzw. Fetttropfen in einem Schmelzemulgierprozess unmittelbar nach dem Tropfenaufbruch wieder, kann das außerdem eine Qualitätsverbesserung bedeuten. Um zu verhindern, dass die noch flüssigen Tropfen wieder koaleszieren, müssen beim Schmelzemulgieren Emulgatoren eingesetzt werden. Auf solche Zusatzstoffe kann bei der Verwendung der SEM-Technologie zumindest teilweise verzichtet werden, wenn die Tropfen

noch in der Mischzone zu Partikeln erstarren bevor sie koaleszieren können [KS11]. Neben geringeren Rohstoffkosten hat das den Vorteil, dass aus Umweltgesichtspunkten auf unerwünschte Zusatzstoffe verzichtet werden kann.

### Herangehensweise, Lösungskonzept

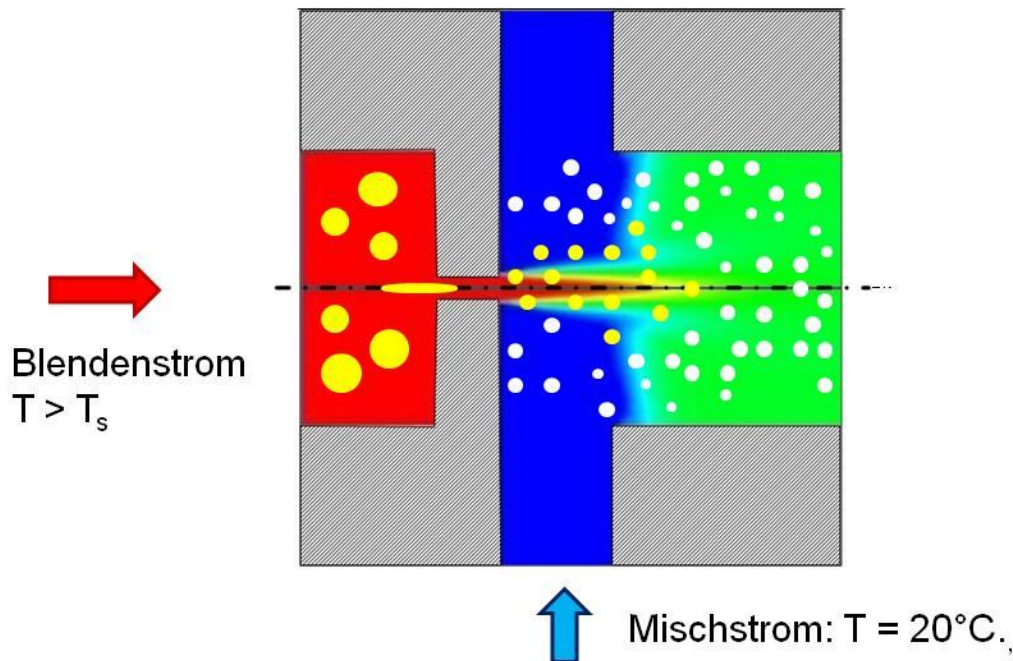


Abbildung 9: Temperaturverteilung in einer SEM-Blende: In der Nachlaufströmung der Blende ist die Temperatur so niedrig, dass Tropfen schnell erstarren

Im Rahmen des Projekts sollte geprüft werden, inwieweit sich die SEM-Technologie für die Trennmittelherstellung einsetzen lässt.

Es wurden folgende Teilziele definiert:

- Ermittlung des Energieverbrauchs im heutigen Prozess
- Entwicklung einer möglichst energieeffizienten Verfahrensvariante
- Übertragung des Prozesses vom PIT-Verfahren auf die SEM-Blende
- Test der Verwendbarkeit in praxisrelevanten Technikums- und Feldversuchen
- Vergleich beider Verfahrensvarianten mittels Energie- und Ökobilanz
- Planung einer Pilotanlage für das geplante Anschlussprojekt

Um aufzeigen zu können, welche Energieeinsparungen mit der neuen Technik möglich sind, wurde zuerst das aktuell eingesetzte PIT-Verfahren näher untersucht. Zur Herstellung von Emulsionen wird eine große Menge an Energie für das Aufschmelzen und die Heißwasserbereitung sowie das spätere Abkühlen benötigt. Aus dem Stand der Technik ergibt sich, dass ein Großteil der insgesamt verbrauchten Energie beim Erwärmen des Wassers für die Dispersion und das anschließende Herunterkühlen der fertigen Emulsion auf die Abfülltemperatur benötigt wird.

In einem ersten Arbeitspaket wurden alle Schritte der Emulsionsfertigung nach dem PIT-Verfahren untersucht und die jeweiligen Energieverbräuche erfasst. Diese Arbeiten wurden zusammen mit dem Antragsteller durch das Bremer Energieberatungsunternehmen UTEC GmbH (im Unterauftrag) durchgeführt. Basierend auf den gewonnenen Daten wurden anschließend unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt, um Energieersparnisse zu realisieren. So sollten die optimalen Verhältnisse der Bestandteile Wachs, Heißwasser und Kaltwasser ermittelt werden. Durch die exakte Charakterisierung und Anwendbarkeit im Praxistest der so modifizierten Emulsion sollte geprüft werden, ob die Emulsionen den vorgegebenen Parametern der konventionellen Herstellungsmethode entsprechen.

In einem weiteren Teilprojekt sollte versucht werden, die gewonnenen Erkenntnisse auf den Schmelzemulgierprozess unter Einsatz der SEM-Blende anhand zweier ausgewählter Modellsysteme zu übertragen.

Zunächst wurde ein Konzentrat mittels PIT-Verfahren hergestellt und in der Dispergiereinheit mit SEM-Blende mit kalter kontinuierlicher Phase (Wasserphase) vermischt (Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen). Es musste somit ein kleinerer Wasseranteil, der mit den Aktivstoffen vorgemischt wurde, zusammen mit der dispersen Phase erwärmt werden. Mittels SEM-Blende kann somit im Vergleich zum Rotor-Stator-System ein deutlich höherer Wasseranteil nach dem eigentlichen Emulgierschritt zugegeben werden, was eine deutliche Energieersparnis ermöglicht.

Ein weiterer Ansatz war, die reine Aktivstoff-Lösemittelmischung direkt in der Dispergiereinheit mit SEM-Blende mit kaltem Wasser zu mischen (Hot-in-Cold-Verfahren). In diesem Fall muss gar kein erwärmtes Wasser bereitgestellt werden. Dadurch kann zusätzlich Energie eingespart werden, da keine Vorrattanks für heißes Wasser mehr benötigt werden. Insbesondere diese aus ökologischen Gesichtspunkten interessante Verfahrensvariante wurde im Rahmen des Projekts eingehend untersucht.

In Technikums- und Feldversuchen sollte dann die technische Verwendbarkeit der über die neuen Herstellungsverfahren erzeugten Trennmittel bei den Endverbrauchern unter deren Produktionsbedingungen geprüft werden.

Auf Grundlage dieser Versuche wurden abschließend das herkömmliche und das Alternativverfahren mit Hilfe einer Energiebilanz miteinander verglichen. Die positiven Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Planung einer Pilotanlage, die im Rahmen eines Folgeprojekts zu bauen ist und die Anpassung des neuen Verfahrens an verschiedene Produkte ermöglicht. Zudem soll im Anschlussprojekt versucht werden, Trennmittelrezepturen mit deutlich reduziertem Lösungsmittelanteil und/oder Emulgatorgehalt zu entwickeln.

Die Firma ACMOS Chemie verfügt über langjährige Erfahrung in der Trennmittelentwicklung und -herstellung und ist immer bestrebt, alternative, energieeinsparende und damit für die Umwelt nachhaltige Emulgiertechniken zu entwickeln und auf deren Anwendbarkeit bei der Herstellung von Trennmitteln hin zu überprüfen. Das gemeinsame Projekt mit dem LVT, an dem das alternative Verfahren zur Emulsionsherstellung intensiv erforscht wurde, verband das Wissen über Einfluss und Bedeutung verschiedener Inhaltsstoffe in geeigneter Weise mit detaillierten Kenntnissen verschiedener Prozessvarianten. Während die Lebensmittelverfahrenstechnik die Aufgabe hatte, anhand eines geeigneten Modellsystems das Verfahren bezüglich Energieaufwand und Produktqualität zu ermitteln und zu optimieren, wurden die Ergebnisse aus den Modellversuchen der ACMOS Chemie auf praxisrelevante Stoffsysteme übertragen und der Gesamtprozess betrachtet. Bei der Erstellung der Energiebilanz half das Energieberatungsunternehmen UTEC GmbH.

### 1.1 Erfassung des Energieverbrauchs beim PIT-Verfahren

Es wurde in Zusammenarbeit mit der UTEC GmbH der Energieverbrauch des bestehenden Produktionsprozesses anhand der zwei Trennmittel 37-5068 und X5-485 als Modellsysteme an einem vorhandenen Produktionsbehälter (Kessel 29) erfasst. Zunächst wurde ein Messkonzept entwickelt, in den Kessel 29 integriert und durchgeführt.

#### *Nutzenergiemessungen am Behälter 29 für die Produkte 37-5068 und X5-485:*

In den Abbildung 10 und 11 sind für einen Messzyklus der Verlauf der elektrischen Leistungsaufnahme (Rührwerk und Turbine) und der Temperatur sowie einige Hauptprozessschritte für die beiden betrachteten Trennmittel angegeben. Der Verlauf bei den anderen Chargen ist nahezu identisch.

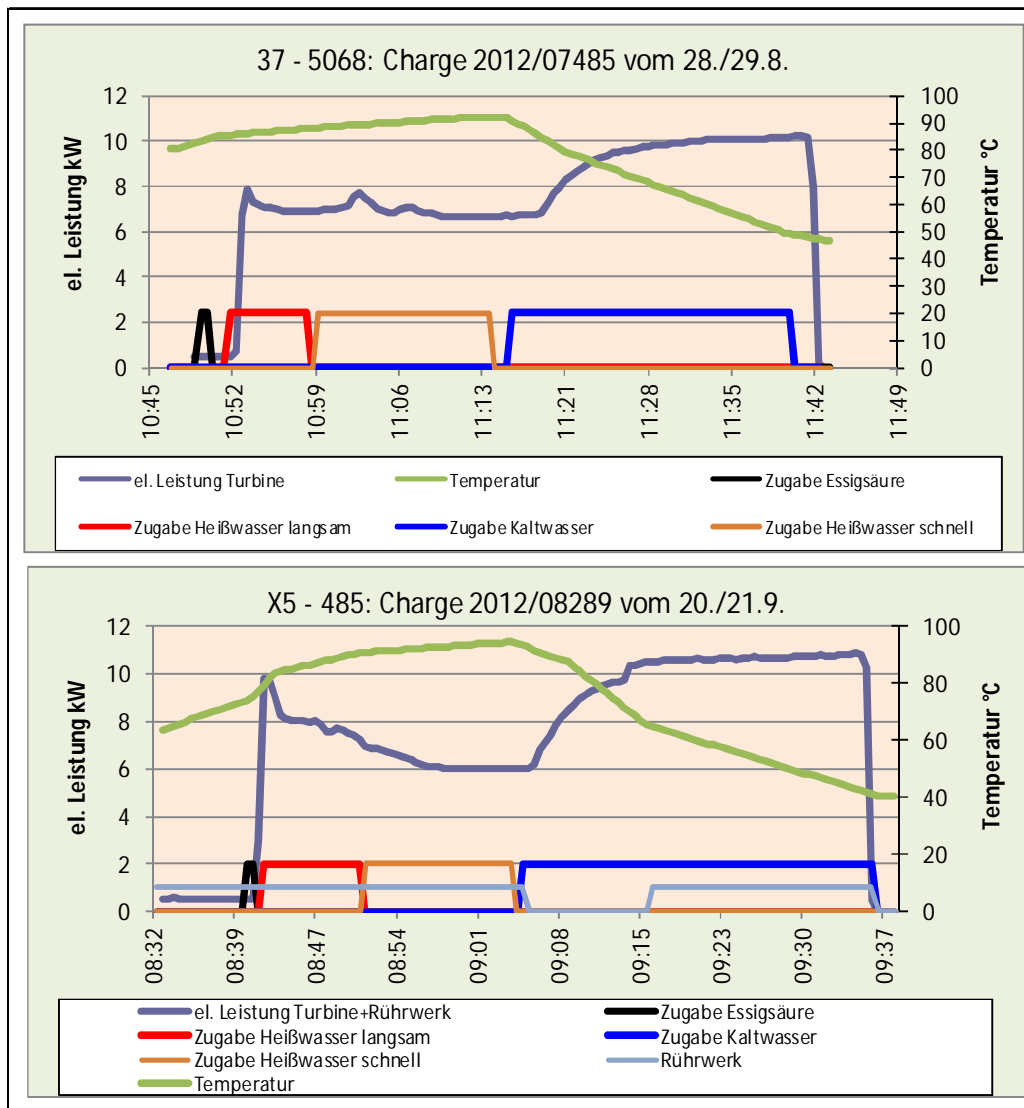


Abbildung 10 und 11: Elektrische Leistungsaufnahme und Behältertemperatur während des Turbinenbetriebes für die Modellsysteme 37-5068 und X5-485. Nicht gezeigt ist das Herunterkühlen auf die Abfülltemperatur von 25°C

Für das Produkt 37-5068 wurde am Kessel 29 mit einer Chargenmenge von 3.850 kg die Nutzenergie messtechnisch erfasst und pro Tonne Produkt umgerechnet. In Verbindung mit rechnerischen Ansätzen des vorhandenen Energieversorgungsystems wurden Nutz-, End-, Primär- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen erstellt. Die Bilanzen wurden jeweils für 2 Abgrenzungen erstellt:

Variante A: Abgrenzung auf die Verluste, die in direktem Zusammenhang mit dem Energiebedarf des betrachteten Produktionsprozesses stehen (z.B. Verluste Heißwasser, Abgasverluste, Pumpen)

Variante B: Abgrenzung auf das gesamte Energiesystem der Produktion (wie bei A aber mit zusätzlich System- und Abgasverlusten)

Variante A betrachtet also Verbräuche und Verluste, welche im unmittelbaren Zusammenhang mit der Herstellung im Kessel 29 stehen, während Variante B auch die Verbräuche und Verluste erfasst, die den Gesamtenergiehaushalt von ACMOS mit Kessel 29 als einzelne Produktionseinheit unter vielen erfasst.

Betrachtet man den Energieverbrauch nach „Variante A“ ergeben sich für die Herstellung folgende Werte:

Wärme (Schmelze + Heißwasser)	18,4 kWh/t + 37,8kWh/t = 56,2 kWh/t
Strom Rührer	3,0 kWh/t
Strom Kühlung	11,2 kWh/t
Strom Heizung	1,3 kWh/t

D.h. pro Tonne Produkt werden 71,7 kWh Energie zur Herstellung benötigt. Der auf der Basis der Stoffdaten berechnete theoretische Nutzenergiebedarf zur Herstellung der dispersen Phase (aufschmelzen der Rohstoffe) liegt bei 13,6 kWh/t. Stellt man den theoretischen Nutzwärmebedarf in Relation zum gemessenen Wert am Behälter 29 (18,4 kWh/t), so ergibt sich für diesen Prozessschritt ein Wirkungsgrad des Aufschmelzsystems von 74 %.

Betrachtet man den Energieverbrauch nach „Variante B“ ergeben sich folgende Werte:

Wärme	128,7 kWh/t
Strom Rührer	3,0 kWh/t
Strom Kühlung	27,8 kWh/t
Strom Heizung	1,7 kWh/t

D.h. pro Tonne Produkt werden 161,1 kWh Energie zur Herstellung benötigt.

Auch für das Produkt X5-485 wurde am Kessel 29 mit einer Chargenmenge von 3.817 kg die Nutzenergiemenge messtechnisch erfasst und pro Tonne Produkt umgerechnet. Die beiden Produkte unterscheiden sich u.a. dadurch, dass X5-485 eine geringere Aufschmelztemperatur und mehr kaltes Wasser beinhaltet. Dieses führt zu einem geringeren Dampf- und Kältebedarf. Am Ende des Emulgierprozesses hat das Produkt eine Temperatur von ca. 40°C. Die Kühlphase reduziert die Produkttemperatur auf die Abfülltemperatur von 25°C. Betrachtet man den Energieverbrauch nach „Variante A“ ergeben sich folgende Werte:

Wärme	39,4 kWh/t
Strom Rührer	3,1 kWh/t
Strom Kühlung	6,6 kWh/t
Strom Heizung	1,3 kWh/t

D.h. pro Tonne Produkt werden 50,4 kWh Energie zur Herstellung benötigt. Wie beim 37-5068 findet sich ein Wirkungsgrad des Behälterwärmesystems von ca. 74%.

Betrachtet man den Energieverbrauch nach „Variante B“ ergeben sich folgende Werte:

Wärme	100,8 kWh/t
Strom Rührer	3,1 kWh/t
Strom Kühlung	19,2 kWh/t
Strom Heizung	1,7 kWh/t

D.h. pro Tonne Produkt werden 124,6 kWh Energie zur Herstellung benötigt.

## 1.2 Erstellung einer Energiebilanz über den bestehenden Prozess

Es wurde ebenfalls in Zusammenarbeit mit der UTEC GmbH der Energieverbrauch des bestehenden Produktionsprozesses anhand der zwei Trennmittel 37-5068 und X5-485 als Modellsysteme an einem vorhandenen Produktionsbehälter (Kessel 29) auch energetisch bilanziert. In Verbindung mit rechnerischen Ansätzen des vorhandenen Energieversorgungssystems wurden Nutz-, End-, Primär- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen erstellt. Die Bilanzen wurden für beide Modell-Trennmittel jeweils für die zwei bekannten Abgrenzungen „Variante A“ und „Variante B“ erstellt:

		Wärme	mech. Antriebe	Strom Wärme- system	Kälte- system	Summe
<b>Nutzenergie</b>	kWh	<b>189,5</b>	<b>11,7</b>		<b>42,9</b>	<b>244,1</b>
Verluste Heißwasser	kWh	15,4				
Heißwasserpumpen	kWh			4,0		
Begleitheizung	kWh			0,1		
Brenner	kWh			0,8		
Speisewasserpumpe	kWh			0,3		
Abgasverluste	kWh	11,3				
<b>Endenergiebedarf</b>	kWh	216,2	11,7	5,1	42,9	275,9
	<b>kWh/t</b>	<b>56,2</b>	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	<b>11,2</b>	<b>71,7</b>
<b>Primärenergiebedarf</b>	kWh	237,8	30,4	13,3	111,4	392,9
	<b>kWh/t</b>	<b>61,8</b>	<b>7,9</b>	<b>3,5</b>	<b>29,0</b>	<b>102,1</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>kg/t</b>	<b>15,0</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>6,3</b>	<b>23,8</b>

Tabelle 1: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen „Variante A“ Produkt 37-5068

		Wärme	mech. Antriebe	Strom Wärme- system	Kälte- system	Summe
<b>gemess. Nutzenergie</b>	<b>kWh</b>	<b>189,5</b>	<b>11,7</b>		<b>42,9</b>	<b>244,1</b>
Verluste Heißwasser	kWh	15,4				
Heißwasserpumpen	kWh			4,0		
Kaltwasserpumpen	kWh				50,5	
Begleitheizung	kWh			0,1		
Brenner	kWh			2,0		
Speisewasserpumpe	kWh			0,7		
Systemverluste	kWh	258,0			13,5	
Abgasverluste	kWh	31,9				
<b>Endenergiebedarf</b>	kWh	494,4	11,7	6,7	106,9	619,7
	<b>kWh/t</b>	<b>128,7</b>	<b>3,0</b>	<b>1,7</b>	<b>27,8</b>	<b>161,1</b>
<b>Primärenergiebedarf</b>	kWh	543,3	30,4	17,5	277,9	869,1
	<b>kWh/t</b>	<b>141,3</b>	<b>7,9</b>	<b>4,5</b>	<b>72,3</b>	<b>226,0</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>kg/t</b>	<b>34,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,0</b>	<b>15,8</b>	<b>52,7</b>

Tabelle 2: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen „Variante B“ Produkt 37-5068

		Wärme	mech. Antriebe	Strom Wärme- system	Kälte- system	Summe
<b>Nutzenergie</b>	kWh	<b>124,3</b>	<b>11,7</b>		<b>25,4</b>	<b>161,4</b>
Verluste Heißwasser	kWh	15,4				
Heißwasserpumpen	kWh			4,0		
Begleitheizung	kWh			0,1		
Brenner	kWh			0,7		
Speisewasserpumpe	kWh			0,2		
Abgasverluste	kWh	10,5				
<b>Endenergiebedarf</b>	kWh	150,3	11,7	4,9	25,4	192,3
	<b>kWh/t</b>	<b>39,4</b>	<b>3,1</b>	<b>1,3</b>	<b>6,6</b>	<b>50,4</b>
<b>Primärenergiebedarf</b>	kWh	165,3	30,4	12,8	65,9	274,5
	<b>kWh/t</b>	<b>43,3</b>	<b>8,0</b>	<b>3,4</b>	<b>17,3</b>	<b>71,9</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>kg/t</b>	<b>10,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,7</b>	<b>3,8</b>	<b>16,7</b>

Tabelle 3: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen „Variante A“ Produkt X5-485

		Wärme	mech. Antriebe	Strom Wärmesystem	Kältesystem	Summe
<b>gemess. Nutzenergie</b>	<b>kWh</b>	<b>124,3</b>	<b>11,7</b>		<b>25,4</b>	<b>161,4</b>
Verluste Heißwasser	kWh	15,4				
Heißwasserpumpen	kWh			4,0		
Kaltwasserpumpen	kWh				37,7	
Begleitheizung	kWh			0,1		
Brenner	kWh			1,7		
Speisewasserpumpe	kWh			0,6		
Systemverluste	kWh	217,9			10,1	
Abgasverluste	kWh	26,9				
<b>Endenergiebedarf</b>	<b>kWh</b>	<b>384,6</b>	<b>11,7</b>	<b>6,3</b>	<b>73,1</b>	<b>475,7</b>
	<b>kWh/t</b>	<b>100,8</b>	<b>3,1</b>	<b>1,7</b>	<b>19,2</b>	<b>124,6</b>
<b>Primärenergiebedarf</b>	<b>kWh</b>	<b>423,1</b>	<b>30,4</b>	<b>16,4</b>	<b>190,2</b>	<b>660,0</b>
	<b>kWh/t</b>	<b>110,8</b>	<b>8,0</b>	<b>4,3</b>	<b>49,8</b>	<b>172,9</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>kg/t</b>	<b>26,8</b>	<b>1,7</b>	<b>0,9</b>	<b>10,8</b>	<b>40,3</b>

Tabelle 4: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen „Variante B“ Produkt X5-485

### 1.3 Umsetzung von Energiespar- und Prozessmodifikationsmaßnahmen beim PIT-Verfahren

#### Energieeinsparung:

Um Energie einzusparen wurde versucht die Menge an notwendigem Heißwasser am Modellsystem 37-5068 zu reduzieren (genannt 37-5068<sub>Energieeinsparung</sub>). Normal ist die Verwendung von 30% Heißwasser zur Herstellung der Voremulsion.

Zunächst wurde im 0,2 kg-Labormaßstab versucht die mit 30% kalkulierte Heißwassermenge auf 20% zu reduzieren. Dies gelang zwar, die Produktqualität ließ aber zu wünschen übrig. Je größer der zu fertigende Laboransatz jedoch gewählt wurde, desto mehr ließ sich die Heißwassermenge ohne Qualitätseinbußen reduzieren. In Labor- und Anwendungsversuchen wurde die Einsatzfähigkeit des so „energieoptimierten“ Produktes erfolgreich getestet. Aufgrund dieser guten Ergebnisse wurde anschließend eine normale Produktionscharge mit 3,85 t gefertigt und ebenfalls erfolgreich einem Anwendungstest unter Produktionsbedingungen unterzogen.

Da weniger Heißwasser benötigt wurde, ließ sich viel Heizenergie einsparen. Zudem wurde die Menge an Heißwasser mit kühlerem und damit kühlendem Wasser ersetzt. Am Ende des Emulsionsprozesses betrug die Temperatur im Kessel 29 daher nur noch knapp 50°C (siehe Abbildung 10) statt 60°C wie bei der herkömmlichen Fertigung. Somit musste auch weniger Kühlenergie eingesetzt werden, um die Abfülltemperatur von 25°C zu erreichen.

Betrachtet man den Energieverbrauch des 37-5068<sub>Energieeinsparung</sub> nach „Variante A“ ergeben sich folgende Werte:

Wärme (Schmelze + Heißwasser)	18,4 + 27,8 = 46,2 kWh/t
Strom Rührer	3,0 kWh/t
Strom Kühlung	8,8 kWh/t
Strom Heizung	1,3 kWh/t

D.h. pro Tonne Produkt werden nach Variante A 59,4 kWh Energie zur Herstellung benötigt. Das sind 17 % weniger Energie als bei der Herstellung mit 30% Heißwasser.

Betrachtet man den Energieverbrauch nach „Variante B“ ergeben sich folgende Werte:

Wärme	118,3 kWh/t
Strom Rührer	3,0 kWh/t
Strom Kühlung	25,4 kWh/t
Strom Heizung	1,7 kWh/t

D.h. nach Variante B werden pro Tonne Produkt 148,5 statt 161,1 kWh Energie zur Herstellung benötigt (Reduktion um 8%).

Prozessoptimierung:

Alternativ wurde das vorhandene Energieversorgungssystem nach mittelfristig umsetzbaren Energieoptimierungs- und Energieeinsparmöglichkeiten ohne Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses untersucht und das Einsparpotenzial für unser Modellsystem 37-5068 abgeschätzt (genannt 37-5068<sub>Prozessopt.</sub>).

Es wurden dabei folgende Einsparmöglichkeiten am Energieversorgungssystem des Behälters 29 identifiziert:

- Erneuerung der Dampfkesselanlage mit Brennstoffwechsel auf Erdgas und optimiertem Betrieb
- Reduktion der Laufzeiten der Heißwasserpumpen
- Freie Kühlung
- Hocheffizienzpumpe „Kaltwassernetz“ mit FU-Ansteuerung

Die größte Energieeinsparung ließe sich durch einen Austausch der vorhandenen Dampfkesselanlage erzielen. Eine Dampfkesselenerneuerung brächten zudem folgende Einsparungen:

- Reduktion der Abgasverluste durch einen Economizer zur Vorerwärmung des Speisewassers
- Reduktion der Bereitschaftsverluste durch die heute übliche, bessere Kesseldämmung
- Optimierung der Abschlämmung, Absalzung, thermischer Entgasung
- Besser gedämmter Speisewasserbehälter
- Höhere Effizienz beim Brenner (Lüfter) und bei der Speisewasserpumpe

Die Umstellung auf Erdgas würde zudem die CO<sub>2</sub>-Emission aufgrund des geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für Erdgas reduzieren. Die mögliche Brennstoffeinsparung unter Verwendung der genannten Einsparansätze ist in der Tabelle 5 angegeben.

	Ist-Situation kWh	Saniertes Zustand kWh	Einsparung kWh
Nutzwärme	312.613	312.613	<b>0</b>
Systemverluste	431.387	162.559	<b>268.828</b>
Abgasverluste	56.000	25.009	<b>30.991</b>
Brennstoffbedarf	800.000	500.181	<b>299.819</b>
<b>Nutzungsgrad %</b>	<b>39</b>	<b>62,5</b>	

*Tabelle 5: Mögliche Brennstoffeinsparung durch Dampfkesselsanierung*

Der Jahresnutzungsgrad der Dampferzeugung mit einem neuen Dampfkessel läge bei 75-80 % (unter Berücksichtigung von Verlusten, z.B. bei der thermischen Entgasung). Schätzt man den Nutzungsgrad des vorhandenen Dampf- und Kondensatornetzes mit einem Nutzungsgrad von 80 %, so ergibt sich ein Gesamtnutzungsgrad von ca. 62,5 %.



Die Erneuerung der Dampfkesselanlage ist zwar technisch realisierbar, rechnet sich aber aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht. Zwar ließe sich Energie im Wert von 35.000 Euro jährlich einsparen, jedoch steht dieser Einsparung eine Investition von ca. 550.000 Euro gegenüber (15,7 Jahre bis zur Amortisierung). Der Austausch ist aber aus Sanierungsgründen mittelfristig (innerhalb der nächsten 3 Jahre) geplant.

#### 1.4 Herstellung von Trennmittlemulsionen mit dem modifizierten PIT-Verfahren und Test der Anwendbarkeit im Praxistest

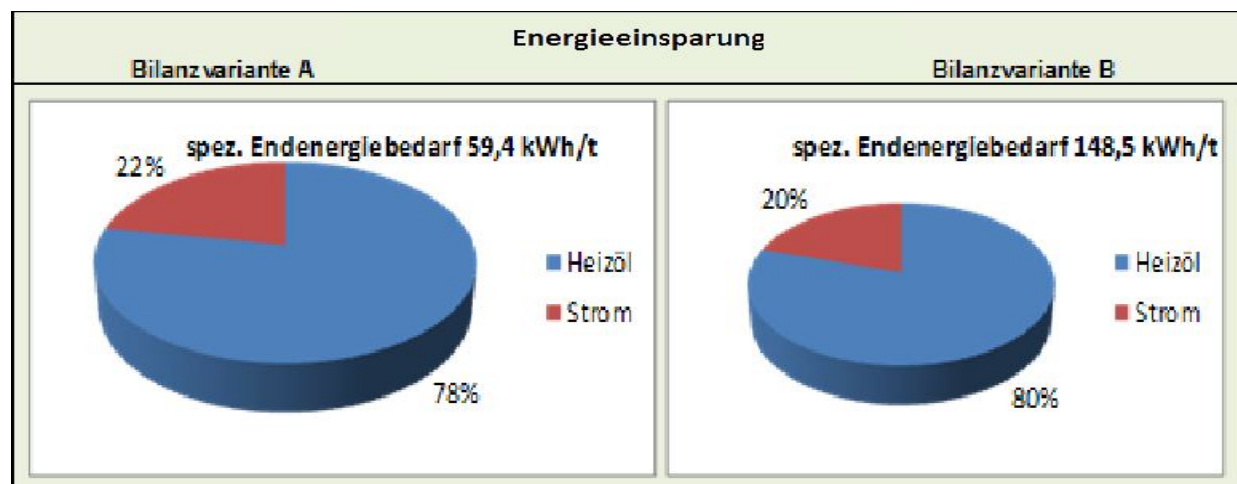
Mit Hilfe des im Arbeitspaket 1.3 optimierten Verfahrens konnten nun mehrere 3,85 t Chargen 37-5068 hergestellt werden (37-5068<sub>Energieeinsparung</sub>). Wie schon bei der ersten Charge konnten alle weiteren modifiziert hergestellten Chargen ebenfalls erfolgreich dem Anwendungstest unter Produktionsbedingungen unterzogen werden.

#### 1.5 Erstellung einer Energiebilanz für das modifizierte Verfahrens und Ermittlung des Einsparpotenzials

Würden alle Energiespar- und Prozessmodifikationsmaßnahmen aus den Arbeitspaketen 1.3 und 1.4 sofort ohne Rücksicht auf Kosten bzw. Nutzen umgesetzt, ergäben sich für das Modellsystem 37-5068 folgende Energieverbräuche (siehe Tabelle 6):

	Energie Variante A kWh/t	Energie Variante B kWh/t
37-5068	71,7	161,1
37-5068 <sub>Energieeinsparung</sub>	59,4	148,5
37-5068 <sub>Energieeinsparung + Prozessopt.</sub>	54,8	88,7

*Tabelle 6: Benötigte Energiemenge pro Tonne Produkt nach herkömmlichen (37-5068), Verfahren, nach energieeingesparten Verfahren (37-5068<sub>Energieeinsparung</sub>) sowie nach energieeingesparten Verfahren kombiniert mit Prozessoptimierungsmaßnahmen (37-5068<sub>Energieeinsparung + Prozessopt.</sub>)*



*Abbildung 12: Endenergiebilanz der Varianten A und B nach Energieeinsparung (37-5068<sub>Energieeinsparung</sub>)*

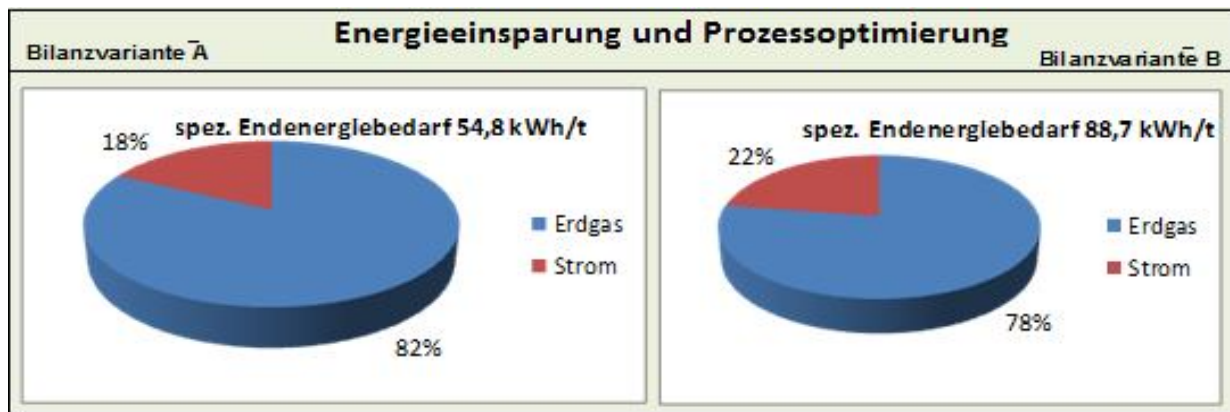


Abbildung 13: Endenergiebilanz der Varianten A und B nach Kombination aus Energieeinsparung und Prozessoptimierung (37-5068<sub>Energieeinsparung + Prozessopt.</sub>)

Abbildungen 12 und 13 verdeutlichen noch einmal die benötigte Energiemenge in Abhängigkeit der betrachteten Varianten A und B und deren Aufteilung auf die Primärenergieträger. Würden die Energiespar- und Prozessmodifikationsmaßnahmen gemeinsam umgesetzt, ließe sich in der Bilanzvariante B im Vergleich zum bestehenden Herstellungsprozess die benötigte Energiemenge um bis zu 45% reduzieren.

#### 1.6 Durch eine Marktanalyse kann abgeschätzt werden, wie viel Energie durch Umstellen der gesamten Produktion eingespart werden könnte

Würden bei ACMOS alle gefundenen Energiespar- und Prozessmodifikationmaßnahmen beim PIT-Verfahren unabhängig einer Kosten-Nutzen-Analyse mittelfristig umgesetzt, ließe sich der Gesamtenergieverbrauch um ca. 45% reduzieren. Z.Z. wird pro Tonne gefertigtes Produkt eine Energiemenge von 161,1 kWh benötigt (Variante B, siehe Seite 22). Unter Berücksichtigung der z.Z. verwendeten und mittelfristig angedachten Primärenergieträger könnten somit ca. 0,10 Euro/kg (entspricht ca. 10% der Fertigungskosten) an Kosten eingespart werden.

## 2 Übertragung

Anhand des im Arbeitspaket 1 verbesserten Prozessverständnisses wurde mit Hilfe der SEM-Blende ein noch energieeffizienterer Prozess für die Herstellung von Trennmitteln mit Hilfe einer kleinen Laboranlage entwickelt. Dazu wurde das LVT (im Unterauftrag) mit einbezogen. In Technikums- und Feldversuchen wurde die technische Verwendbarkeit der über diesen neuen Herstellungsprozess erzeugten Trennmittel geprüft.

### 2.1 Übertragung der aus AP1 gewonnenen Erkenntnisse auf die SEM-Technologie anhand von zwei ausgewählten Modellsystemen

Mit Hilfe der ausgewählten Modellsysteme sollte das bestehende und im Arbeitspaket 1 modifizierte PIT-Verfahren auf die neue SEM-Technologie, anhand einer am LVT vorhandenen SEM-Laborapparatur, übertragen und verglichen werden.

Nicht alle Aktivstoffe der Firma ACMOS liegen bei Raumtemperatur fest vor. Mit den beiden ausgewählten Modellsystemen wurde überprüft, inwieweit ein Alternativverfahren auch für bei Raumtemperatur flüssige Aktivstoffe Vorteile bringt. Zusammensetzung, Emulgatorsystem und Lösemittelanteil orientierten sich an den gängigsten Produkten der ACMOS Chemie.

Bevor Versuche mit der SEM-Technologie durchgeführt werden konnten, musste das LVT Detailkenntnisse von dem bei ACMOS etablierten Verfahren erlangen. Die Firma ACMOS schulte daher einen Mitarbeiter des Instituts und unterstützte den Aufbau einer

Versuchseinrichtung, mit der Versuche nach dem herkömmlichen PIT-Verfahren nachgestellt werden können.

Das SEM-Verfahren ermöglicht eine sehr hohe Energieeinsparung da theoretisch nur noch die disperse Phase erhitzt werden muss. Zudem wird im Vergleich zu einem herkömmlichen Hochdruckhomogenisierprozess auch mechanische Energie eingespart, da nur ein Teil des Endproduktes verdichtet wird. Auch könnten gleichzeitig z.B. abrasive Feststoffe über den Nebenstrom in ein Produkt ohne Verschleiß an Blende oder Hochdruckpumpe eingearbeitet werden. Abbildung 14 zeigt das Prinzip der SEM-Technologie und den schematischen Aufbau der Laboranlage.

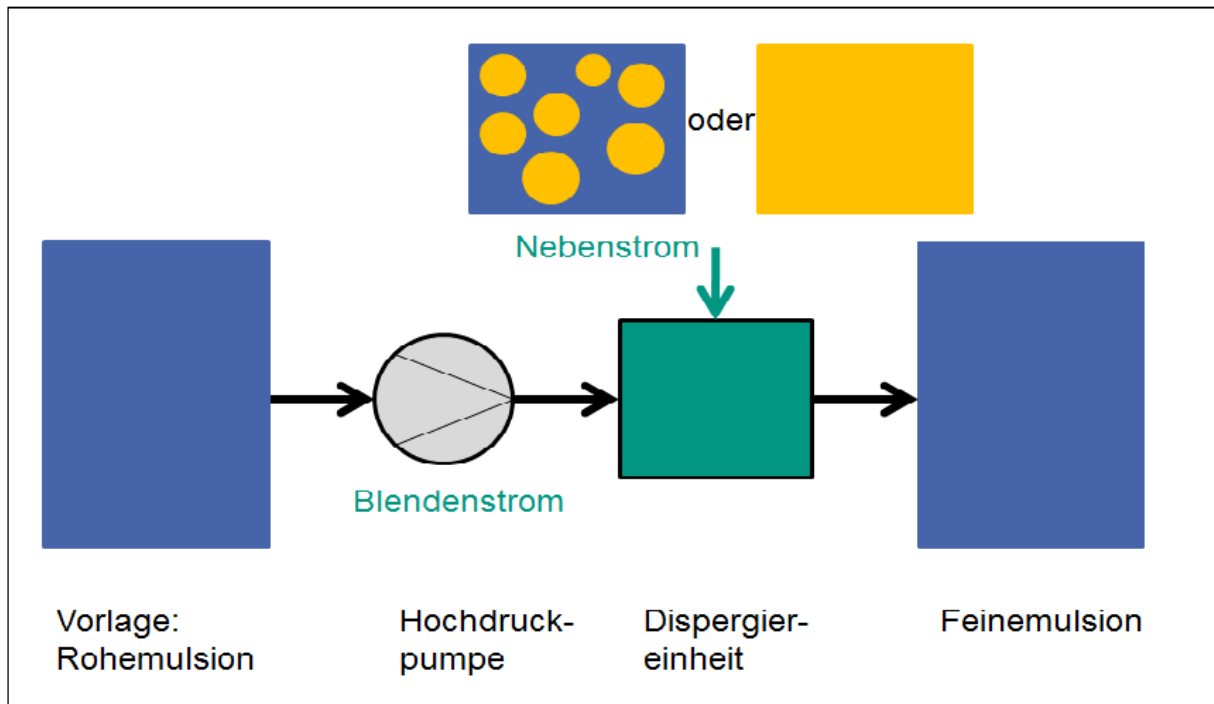


Abbildung 14: Prinzip der SEM-Technologie

Es wurden prinzipiell zwei Betriebsweisen in diesem Projekt ausprobiert:

1. Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen: Dazu wird eine erwärmte Rohemulsion über den Blend- oder Nebenstrom in die Dispergiereinheit gegeben und mit Wasser vermischt. Diese bewirkt eine gleichzeitige Nachhomogenisierung und Verdünnung zum fertigen Endprodukt. Wenn die Rohemulsion stark abrasive Partikel in hoher Konzentration enthält muss die Zugabe über den Nebenstrom erfolgen (wurde in diesem Projekt nicht betrachtet).
2. Hot-in-cold-Verfahren: Der Nebenstrom besteht aus der reinen dispersen Phase und wird in der Dispergiereinheit dem Blendenstrom zugeführt (siehe Abbildung 15). Der Blendenstrom besteht in diesem Projekt aus 20°C warmen Wasser, welches durch die Hochdruckpumpe mit hohem Druck in die Dispergiereinheit geleitet und in der Lochblende wieder auf Umgebungsdruck entspannt wird. In der Mischzone vermischt sich der Blendenstrom mit dem Nebenstrom (er enthält z.B. die reine disperse Phase), welcher unter Normaldruck zugeführt wird. Das Produkt verlässt die Dispergiereinheit mit einer Mischtemperatur  $T_{\text{Misch}}$  (siehe Abbildung 15).

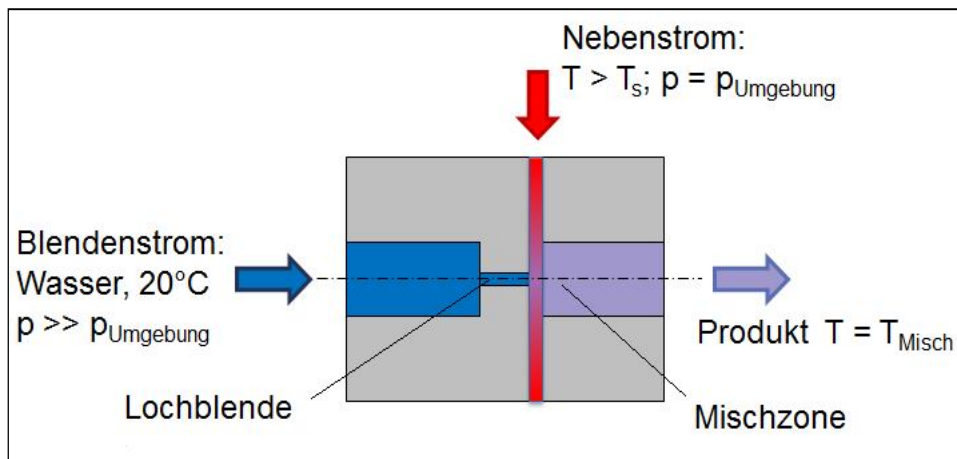


Abbildung 15: Prinzip der Dispergiereinheit beim „Hot-in-Cold“-Verfahren

## 2.2 Auswahl eines geeigneten Modellsystems und Charakterisierungsverfahrens

Anfänglich wurden beide aus dem ersten Arbeitspaket bekannten Modellsysteme 37-5068 und X5-485 untersucht. Schnell zeigte sich die prinzipielle Übertragbarkeit der Ergebnisse, so dass entschieden wurde sich auf die Forschungsarbeiten mit dem Modellsystem 37-5068 zu konzentrieren.

Als Charakterisierungsverfahren wurden für das LVT die Bestimmung von Wirkstoffgehalten (Qualitätskontrolle), Fließkurven (Lagerstabilität), Viskosität (Qualitätskontrolle, Einheitlichkeit und Bandbreite des Prozesses) und Partikelgrößenverteilung (Einheitlichkeit der Probe) festgelegt. Darüber hinaus halfen Differential-Scanning-Calometrie (DSC)-Messungen bei der Aufklärung von Aufschmelzphänomenen. Bei ACMOS wurden die am KIT hergestellten Proben verschiedenen Stabilitätsuntersuchungen (Lagerung, Verarbeitbarkeit) und Trenntests (Anwendung) unterzogen.

Zunächst wurden die Messmethoden, die an der LVT üblicherweise zur Emulsionscharakterisierung herangezogen werden, auf ihre Aussagekraft in bezug auf die Lagerstabilität überprüft. Abbildung 16 zeigt die Partikelgrößenverteilung von instabilen und lagerstabilen Chargen von Rückstellmustern des Modellsystems 37-5068.

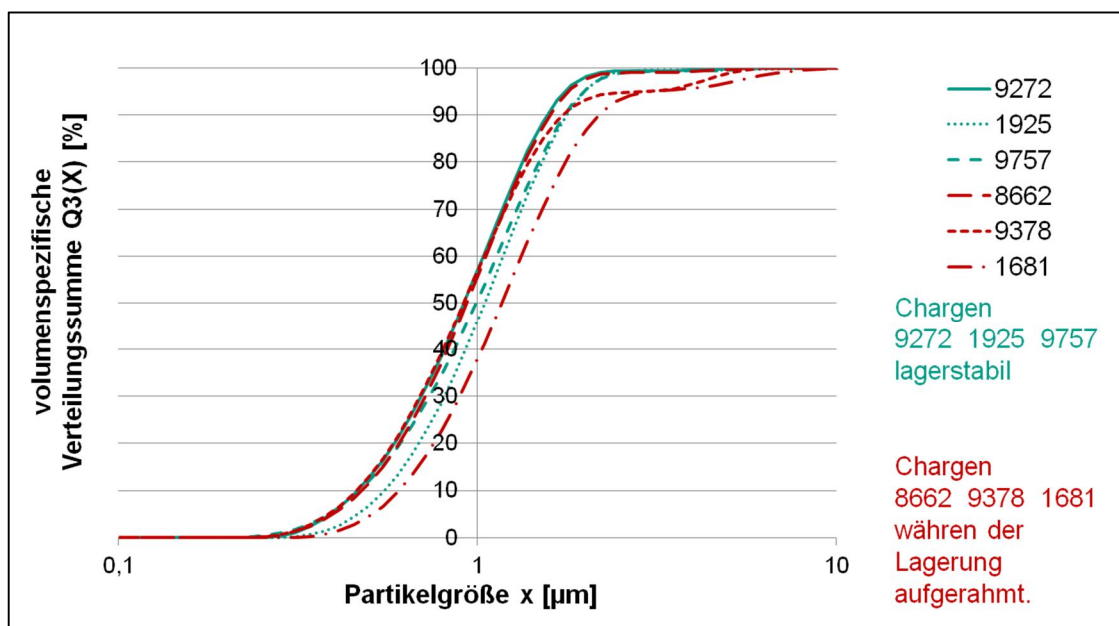


Abbildung 16: Partikelgrößenverteilung von instabilen und lagerstabilen Chargen des Modellsystems 37-5068

Es war bekannt, dass Proben mit höherer Viskosität eine bessere Lagerstabilität zeigen. Messungen von Fließkurven an der LVT haben diese Aussage bestätigt. Aufgrund des geringen Feststoffgehaltes von gesamt 5 Gew.% ist die Viskosität jedoch nahezu unabhängig von der Partikelgröße. Es konnte, wie Abbildung 16 zeigt, kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Partikelgröße und Lagerstabilität gefunden werden. Dass ein größerer Anteil an Partikeln im Größenbereich mehrerer  $\mu\text{m}$  (Chargen 9378, 1681) zu vermehrtem Aufrahmen führt, ist lediglich als Tendenz zu sehen. Vermutlich ist die Viskosität für die Stabilität entscheidender und die Partikelgröße aufgrund des geringen Feststoffanteils in der dispersen Phase von untergeordneter Bedeutung.

### 2.3 Zusammenhang zwischen Charakterisierung der Produkte am Institut und Anwendungstests bei ACMOS

Alle am LVT hergestellten Proben mit ausreichender Lagerstabilität wurden einem Trenntest bei ACMOS unterzogen und zeigten eine sehr gute Trennwirkung und eine gute Oberflächengüte der im ACMOS-Technikum entformten Formbauteile. Es konnte in der Projektlaufzeit kein eindeutiger Zusammenhang zwischen positiven oder negativen Charakterisierungsergebnissen am LVT und dem Test der Stabilität und Trennwirkung bzw. Performance (z.B. Oberflächengüte der entformten Bauteile) gefunden werden.

Um doch noch einen Zusammenhang zwischen positiven oder negativen Charakterisierungsergebnissen am LVT und dem Test der Stabilität und Trennwirkung zu finden, soll im Folgeprojekte ein Themenschwerpunkt sein. Geplant sind Untersuchungen mit sehr anspruchsvollen Charakterisierungsmethoden wie z.B. Partikelgrößenbestimmung durch Laserbeugung (Auswertung der Ergebnisse nach der Mie-Theorie) oder oszillatorische Rheologie.

## **3 Verfahrensvergleich: Tropfenzerkleinerung bei beiden Verfahren**

Dieses Arbeitspaket diente dazu ein „Gefühl“ für die Tropfenzerkleinerung, als maßgeblichen Schritt bei der Emulsionsherstellung, während und nach der Emulsionsausbildung zu bekommen. Ab dem Moment der Heißwasserzugabe bilden sich kleine Tropfen. Beim Emulgierprozess werden zunächst diese Tropfen durch den Emulgierapparat zerkleinert und anschließend durch Adsorption von Emulgatormolekülen stabilisiert. Die Strömung in einem Emulgierapparat wirkt sich unterschiedlich auf die beiden Vorgänge – Zerkleinerung und Stabilisierung – aus. Beide Phänomene beeinflussen das Endergebnis. Anhand von Zubereitungen mit geringem Dispersphasenanteil wurde für die Modellsubstanz die Tropfenzerkleinerung, die mit beiden Verfahren (PIT, SEM) erreicht wurde, verglichen. Durch den geringen Dispersphasenanteil kann eine Tropfenkoaleszenz nahezu ausgeschlossen werden, sodass die Zerkleinerung gezielt untersucht werden kann. Durch geeignete Anpassungen (Blendengeometrie, Temperaturführung, etc.) kann die Zerkleinerungswirkung in der SEM-Blende verbessert werden. Für beide Verfahrensvarianten wurde untersucht, welchen Einfluss die Koaleszenz auf die Partikelgrößenverteilung in der Probe hat. Das alternative Verfahren wurde so angepasst, dass mindestens die gleiche Zerkleinerungswirkung wie mit dem herkömmlichen Rotor-Stator Verfahren erreicht wurde.

### 3.1 Untersuchung der Tropfenzerkleinerung beim herkömmlichen PIT-Verfahren

Zunächst wurde in diesem Arbeitspaket das PIT-Verfahren weitestgehend nachgestellt. In diesem Arbeitspaket wurde der Einfluss der Dispergierzeiten im heißen Zustand, d.h. vor Zugabe des Kaltwassers, auf die Partikelgröße und das Fleißverhalten untersucht. Dabei wurde zusätzlich die Zugabegeschwindigkeit des Heißwassers variiert.

Die Geschwindigkeit der Heißwasserzugabe sollte der Erfahrung nach langsam erfolgen. Im heißen Zustand, d.h. vor Zugabe des Kaltwassers, kann die Partikelgröße durch Erhöhung der

Dispergierdauer positiv beeinflusst werden. Es zeigte sich kein einheitlicher Einfluss der Dispergierdauer im heißen Zustand auf das Fließverhalten und die resultierende Endviskosität. Auch hier zeigt sich, dass die Partikelgröße aufgrund des geringen Wirkstoffgehaltes im Modellsystem keinen großen Einfluss auf die Stabilität des Endproduktes hat. Beide Ergebnisse sollen im Nachfolgeprojekt näher untersucht werden.

### 3.2 Untersuchung der Tropfenzerkleinerung beim SEM-Verfahren

Diese Untersuchungen dienen als Vorversuche für die geplante SEM-Betriebsweise „Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen“ im Arbeitspaket 4.1.1. D.h. zunächst wurde analog dem PIT-Verfahren eine Voremulsion hergestellt. Die Konzentration der Voremulsion betrug 45% und entsprach der Konzentration an disperser Phase nach Ende der Heißwasserzugabe beim PIT-Verfahren. In der Dispergiereinheit mit SEM-Blende wurde die heiße Voremulsion mit Kaltwasser gemischt und die Tropfen dabei effektiv zerkleinert. Wie Abbildung 17 zeigt, wird bereits ab 100 bar Arbeitsdruck eine ähnliche Tropfengrößenverteilung erzielt wie beim PIT-Verfahren.

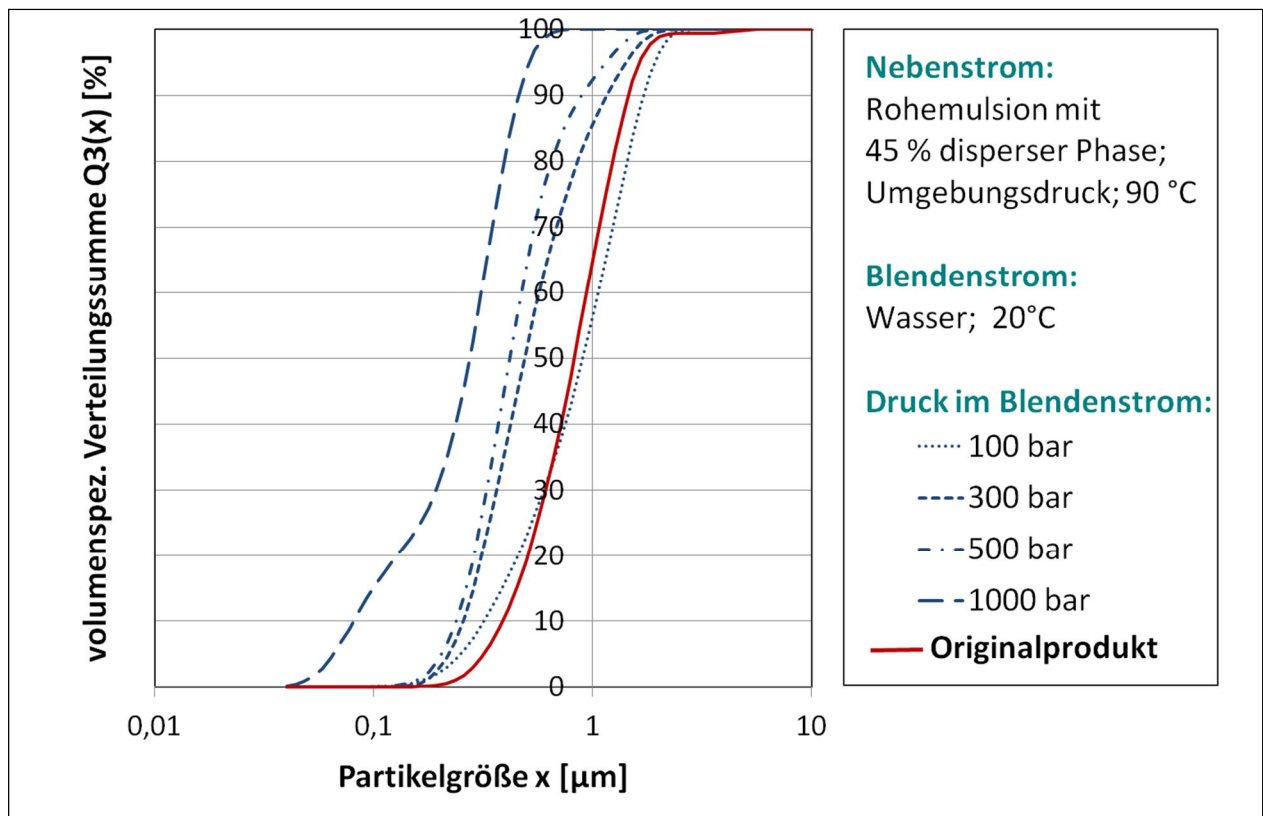


Abbildung 17: Teilchengrößenverteilung des 37-5068 mit der SEM-Betriebsweise „Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen“ (Konzentration der Rohemulsion analog dem PIT-Verfahren)

Mit einem Anteil von 45% disperser Phase in der Voremulsion ergibt sich energetisch kein prinzipieller Vorteil gegenüber dem PIT-Verfahren. Jedoch wurde aufgrund der guten Ergebnisse beschlossen im Arbeitspaket 4.1.1 weitere Versuche mit höher konzentrierten Voremulsionen durchzuführen. Nur durch die Verwendung höherer Konzentrationen an disperser Phase ließe sich Energie für das Aufheizen der Voremulsion und Kühlenergie beim Herunterkühlen des fertigen Ansatzes einsparen.

## 4 Neues Verfahren

Wie im Arbeitspaket 2.1 genauer beschrieben, gibt es zwei prinzipielle Betriebsweisen beim SEM-Verfahren:

- Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen
- Hot-in-cold-Verfahren

Bei der ersten Betriebsweise muss, verglichen mit dem PIT-Verfahren, ein geringerer Heißwasseranteil erwärmt werden, wodurch thermische Energie eingespart werden kann. Zudem kann dadurch bis zum Erreichen der Abfülltemperatur Kühlenergie eingespart werden. Im Gegensatz zu den Versuchen im Arbeitspaket 3.2 wurden in Arbeitspaket 4.1.1 noch höher konzentrierte Voremulsionen hergestellt (Anteil disperse Phase in der Voremulsion 60 statt 45%).

Die SEM-Technologie bietet beim Hot-in-Cold-Verfahren die Möglichkeit, kontinuierliche (Wasserphase) und disperse Phase (Aktivstoff-Lösemittelgemisch) direkt in der Dispergiereinheit zu mischen. Da die kontinuierliche Phase dabei kalt vorgelegt werden kann, sind noch weitere Energieeinsparungen möglich. Zudem kann noch mehr Kühlenergie eingespart werden.

### 4.1 Entwicklung der Verfahrensalternative für Trennmittlemulsionen durch Hochdruckhomogenisieren mit der SEM-Blende

Die am LVT vorhandene SEM-Anlage wurde an die Anforderungen der Modellsysteme angepasst. Aufgrund der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete 2 und 3 war nun bekannt, unter welchen Prozessbedingungen die disperse Phase direkt in der Dispergiereinheit mit der kontinuierlichen Phase vermischt werden muss.

#### 4.1.1 *Hochkonzentrierte* Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen

Eine hochkonzentrierte Voremulsion wird ähnlich dem PIT-Verfahren hergestellt und wird direkt im Anschluss in der Dispergiereinheit mit SEM-Blende mit kalter kontinuierlicher Phase (Wasserphase) vermischt (Anteil disperse Phase in der Voremulsion nun 60 statt 45%).

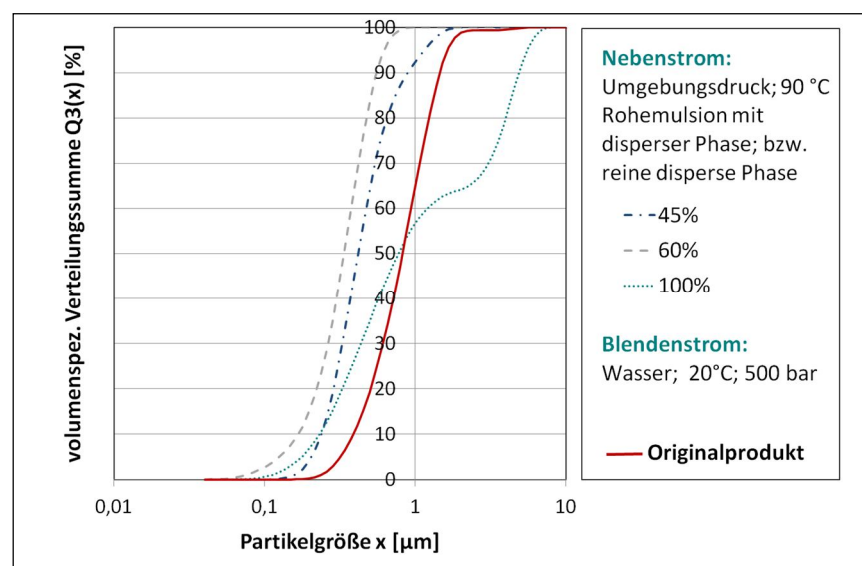


Abbildung 18: Teilchengrößenverteilung bei Herstellung des 37-5068 mit der SEM-Betriebsweise „hochkonzentrierte Rohemulsion in der Dispergiereinheit verdünnen“

Wie Abbildung 18 zeigt, führt die Verwendung von hochkonzentrierten Voremulsionen zu sehr kleinen Teilchen, verglichen mit dem PIT-Verfahren. Die Versuche zeigten, dass die Betriebsweise „Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“ zwar prinzipiell funktioniert, jedoch waren die hochkonzentrierten Voremulsionen sehr viskos und damit sehr schwer in die SEM-Blende zu befördern (hohes Risiko von Leitungsverstopfungen und fehlerhaftem Feststoffgehalt im Fertigprodukt). Zudem führt diese Fertigungsweise zu sehr geringen Viskositäten und Lagerstabilitäten. Daher wurde entschieden diese Betriebsweise nicht weiter zu verfolgen und die gesamte Aufmerksamkeit auf das energiesparsamere Hot-in-Cold-Verfahren zu konzentrieren. Diese Betriebsweise sollte allein vom Prinzip her viel mehr Energie einsparen.

Abbildung 18 zeigt, dass man bei der Dispergierung der 100% disperse Phase direkt in kaltes Wasser eine, verglichen mit dem PIT-Verfahren, breitere Verteilung der Partikelgröße erhält. In Abbildung 19 dargestellte Fließkurven zeigen hingegen, dass durch das Hot-in-Cold-Verfahren Produkte höherer Viskosität hergestellt werden, sodass eine verbesserte Lagerstabilität im Vergleich zu allen anderen hergestellten Proben dieses Arbeitspaketes zu erwarten ist (siehe bitte auch weiter unten die Ergebnisse der weiterführenden Arbeiten im Arbeitspaket 4.1.2).

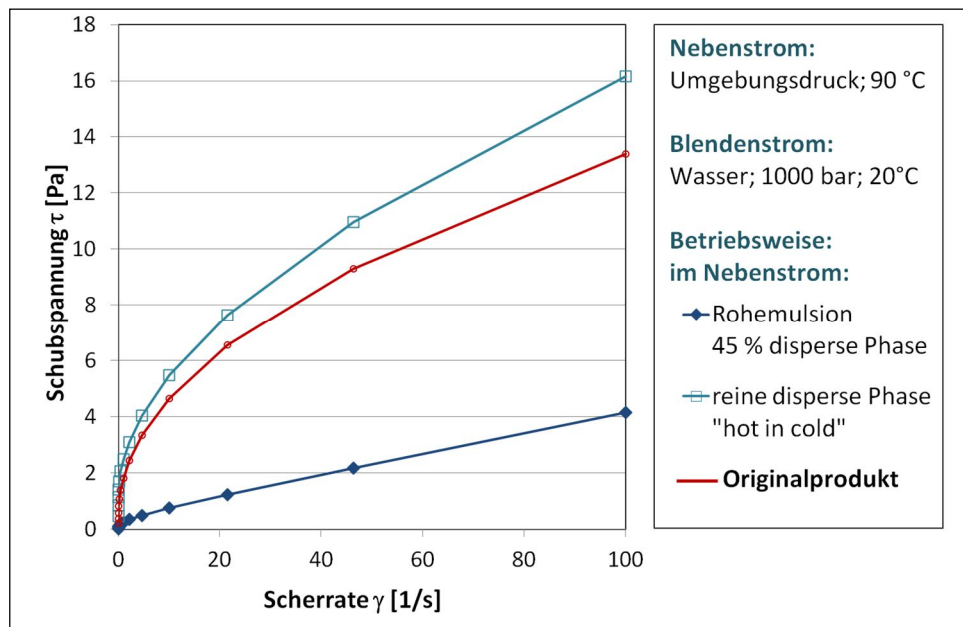


Abbildung 19: Fließkurven der beiden Betriebsweisen „hochkonzentrierte Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“, „Hot-in-Cold“ verglichen mit dem PIT-Verfahren

#### 4.1.2 Betriebsweise Hot-in-Cold: Erhitztes Aktivstoff-Gemisch direkt in kaltes Wasser dispergieren

Die SEM-Technologie bietet beim Hot-in-Cold-Verfahren die Möglichkeit, kontinuierliche (Wasserphase) und disperse Phase (Aktivstoff-Gemisch) direkt in der Dispergiereinheit zu mischen. Da die kontinuierliche Phase dabei kalt vorgelegt werden kann und kein Heißwasser wie beim PIT-Verfahren benötigt wird, sind über die Betriebsweise „hochkonzentrierte Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“ hinausgehende weitere Energieeinsparungen möglich. Zudem kann noch mehr Kühlenergie eingespart werden. In diesem Arbeitspaket wurde nun die energiesparendste Betriebsweise Hot-in-Cold für die Herstellung des Modellsystems 37-5068 verwendet. Dabei wurde die disperse Phase über den Nebenstrom dem unter sehr hohem Druck stehenden Blendenstrom aus reinem Wasser zugeführt.

Das Hot-in-Cold-Verfahren liefert, wie Abbildung 18 zeigt, eine breitere Partikelgrößenverteilung, als die Betriebsweise „Rohemulsion in der Dipergiereinheit verdünnen“ oder das PIT-Verfahren. Es finden sich viele ungenügend zerkleinerte Partikel im



Produkt. Jedoch zeigt die Fließkurve in Abbildung 19 eine deutliche Verbesserung der Stabilität des 37-5068. Es zeigte sich in weiteren Versuchen, dass zur Erreichung einer besseren Stabilität und einer näher am PIT-Verfahren orientierte Partikelgrößenverteilung (wie sie das PIT-Verfahren liefert) die Verwendung von hohen Drücken notwendig ist (siehe Abbildung 20).

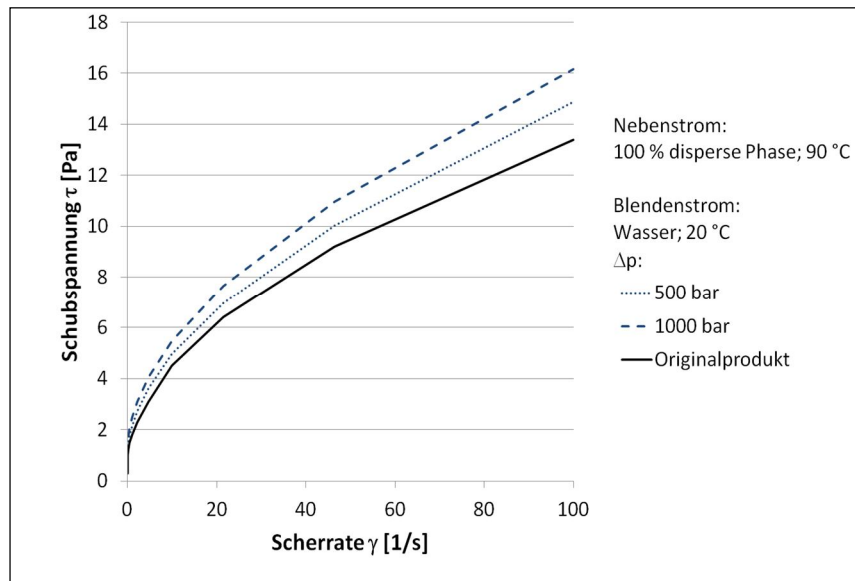


Abbildung 20: Druckabhängigkeit der erzielten Stabilitäten bei Herstellung des 37-5068 mit der SEM-Betriebsweise „Hot-in-Cold“

Die besten Ergebnisse wurden schlussendlich erzielt, nachdem eine Geometrie Anpassung an der Dispergiereinheit vorgenommen wurde. Dazu wurde die Dispergiereinheit mit einem Gegendruck betrieben. Der Gegendruck wurde durch eine nachgeschaltete Blende mit größerem Durchmesser erzeugt. Der Nebenstrom wurde direkt hinter der ersten und noch vor der zweiten Blende zugemischt. Man spricht dann von einer zweistufigen Dispergiereinheit, welche eine bessere Tropfenzerkleinerung ermöglicht und eine verbesserte Vermischung des Blend- und Nebenstroms bewirkt.

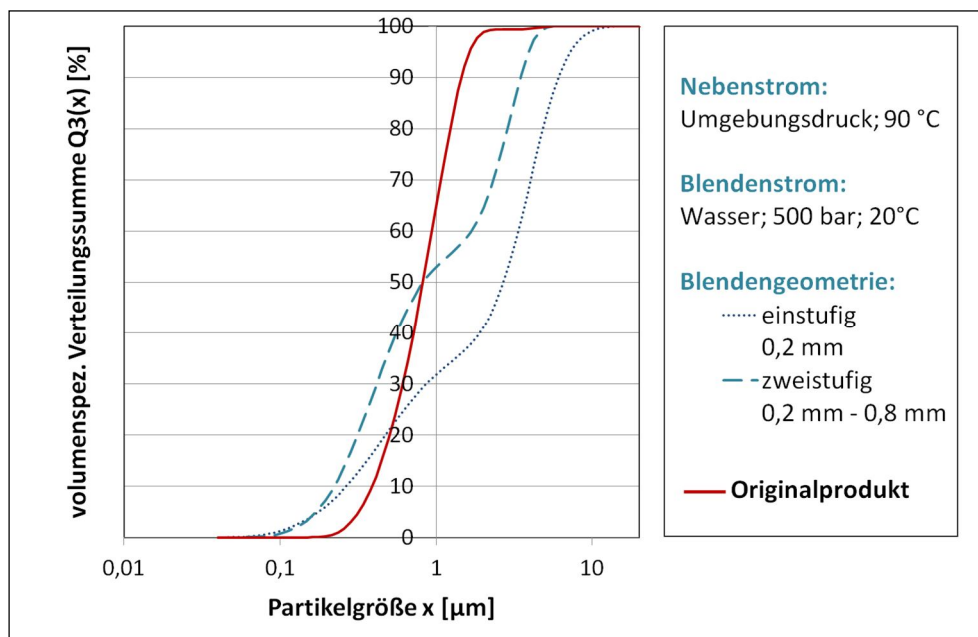


Abbildung 21: Teilchengrößenverteilung bei Herstellung des 37-5068 mit einer zweistufigen Dispergiereinheit

Abbildung 21 zeigt deutlich, dass verglichen mit dem PIT-Verfahren die zweistufige Blende die Teilchen verkleinert und der Anteil an größeren Partikeln sich der Partikelgrößenverteilung des PIT-Verfahrens annähert. Die Lagerstabilität entsprach in etwa der des PIT-Verfahrens. Es konnten innerhalb der Projektlaufzeit keine weiteren Versuche mit höheren Drücken und eine Feinabstimmung der SEM-Blenden zueinander durchgeführt werden. Auch konnten unterschiedliche Modifikationen an der Dispergiereinheit nicht mehr durchgeführt werden. Alle diese Arbeiten sollen im geplanten Anschlussprojekt mit Hilfe einer Pilotanlage eingehend untersucht werden, um das Optimum aus diesem energiesparenden Emulgierv erfahren herausholen zu können.

#### 4.2 Test der Anwendbarkeit in Technikums- und Feldversuchen

Die Betriebsweise Hot-in-Cold lieferte aufgrund der ausreichenden Stabilität der hergestellten Emulsionen das Ausgangsmaterial für weitere Stabilitätsuntersuchungen und für das Durchführen von Entformungstests im ACMOS-Technikum. Die kleine Laboranlage des LVT musste dafür z.T. tagelang eine ausreichende Menge an Trennmittel 37-5068 produzieren um genügend Material, insbesondere für die Feldversuche zur Verfügung zu stellen. Alle mit dieser Betriebsweise hergestellten Proben zeigten eine mit dem PIT-Verfahren vergleichbare Trennwirkung und Oberflächengüte der entformten Bauteile.

Auch bei den Feldversuchen konnten keine Unterschiede zwischen dem PIT- und Hot-in-Cold-Verfahren hinsichtlich Trennwirkung, Oberflächengüte und Aufbauverhalten festgestellt werden.

### 5 Ökobilanzierung und Dokumentation

Dieses Arbeitspaket beinhaltet detailliert den Vergleich der Energiebilanzen beider Technologien PIT und SEM. Aufbauend auf den vorangegangenen Ergebnissen der Arbeitspakete 1-4 kann in einer erweiterten Ökobilanzierung nun gezeigt werden, dass die Verwendung der SEM-Technologie für die umweltfreundliche Fertigung von Trennmitteln geeignet ist und zusätzlich Energie einspart. Zudem macht es aus wirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht Sinn, über neue Distributionswege nur noch die benötigten Bestandteile der dispersen Phase als Rohstoffkonzentrate direkt in die weltweiten Märkte zu transportieren und die Trennmittel dann direkt vor Ort zu produzieren.

Der Unterauftragnehmer UTEC bestimmte den Energieverbrauch der kleinen Laboranlage des LVT und der Technikumsanlage von ACMOS und arbeitete, extrapoliert auf eine später zu bauende großtechnische Anlage, die theoretischen Herstellungsprozesse und jeweils möglichen Energieersparnisse aus.

#### 5.1 Ökobilanzierung

Im Zuge zunehmender Umweltauflagen ist zu beobachten, dass viele Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie in Europa eine Fertigung mit rein wasserbasierten Trennmitteln anstreben. Insofern eröffnete dieses Projekt die Möglichkeit deren Herstellung umweltfreundlicher zu gestalten. Der umweltschonende und energiesparende SEM-Herstellungsprozess lässt sich von Sperrschicht-Produkten leicht auf viele andere Sparten übertragen. Er lässt sich generell auf die Emulgierung jedes Wachses anwenden. Die Umweltrelevanz soll anhand der weltweiten Produktion von Wachs- und Paraffinemulsionen in Deutschland verdeutlicht werden:

Wachshaltige Emulsionen werden als Sperrschichtprodukte unter anderem in der Holz-, Gummi-, Metall-, und kunststoffverarbeitenden Industrie eingesetzt. Paraffinhaltige Emulsionen werden zur Hydrophobierung von lignocellulosehaltigen Produkten verwendet. Weiterhin ist die Verwendung von Wachsemulsionen in Druckfarben und wässrigen Lacken zur Einstellung von Slip und Blockeigenschaften notwendig. Der Markt für z.B. Trennmittel,

Druckadditive und Lackadditive kann mit 50.000 Tonnen in Deutschland abgeschätzt werden. Der nationale Gesamtmarkt für Wachsemulsionen incl. Paraffinemulsionen allein in Deutschland wird auf 1.000.000 t/a geschätzt.

Vergleicht man den Energiebedarf des SEM-Verfahrens mit dem prozessmodifizierten PIT-Verfahren am Beispiel Behälter 29 ergibt sich folgendes Bild:

Beim prozessmodifizierten PIT-Verfahren und der Betriebsweise Hot-in-Cold der SEM-Technologie werden zum Aufschmelzen der dispersen Phasen mit ca. 18,4 kWh/t (siehe Seite 21) dieselben Energiemengen benötigt (Betrachtung Variante A). Dieser Wert beinhaltet die Verluste im Aufheizbehälter, ergab doch die theoretische Berechnung aus Literaturwerten 13,6 kWh/t (siehe Seite 21).

Durch die Betriebsweise Hot-in-Cold entfällt die Erzeugung des Heißwassers, d.h. pro Tonne können nach der Betrachtungsweise A inkl. Systemverluste 27,8 kWh/t Energie eingespart werden (siehe Seite 23). Hinzu kommt noch die benötigte Energie für die Turbine (ca. 3 kWh/t, siehe ebenfalls Seite 21), gesamt also 30,8 kWh/t.

Das fertige Produkt unseres Modellsystems verließ die Dispergiereinheit mit einer Temperatur von ca. 40°C. Dies sind ca. 10°C weniger als die Emulsion beim PIT-Verfahren nach Ende der Kaltwasserzugabe aufwies. (Allerdings handelt es sich bei der Anlage nur um eine kleine Laboranlage und nicht um den großen Kessel 29. Daher ist eine unmittelbare Vergleichbarkeit allein aufgrund der unterschiedlichen Größendimensionen der Chargen schwierig.) Diese Energieersparnis wurde mit ca. 2,4 kWh/t abgeschätzt. Dieser Wert resultiert aus folgender Überlegung: Das PIT-Verfahren mit der herkömmlichen Heißwassermenge benötigte für die Kühlleistung von 60°C auf 25°C Abfülltemperatur 11,2 kWh/t (siehe Tabelle 1). Das neue prozessmodifizierte PIT-Verfahren mit einer geringeren Heißwassermenge benötigte deswegen eine geringere Kühlleistung von nur noch 50°C auf 25°C Abfülltemperatur. Hierfür werden nur noch ca. 8,8 kWh/t (siehe Seite 24 Variante A) benötigt. Die Differenz beider Energien von 2,4 kWh/t ergibt grob abgeschätzt die Kühlleistung für 10°C Temperaturunterschied. Im Nachfolgeprojekt soll durch die UTEC GmbH anhand der größeren Pilotanlage die Energieverbräuche mit einer höheren Genauigkeit ermittelt werden. Faktisch wird durch die SEM-Technologie aber immer Kühlenergie eingespart.

## 5.2 Ausarbeiten der theoretisch möglichen Prozesse und der damit verbundenen Energieersparnisse

Zusammen mit der UTEC GmbH wurden die Energieverbräuche für das PIT- und das Hot-in-Cold-Verfahren im Labormaßstab verglichen. Es wurde dabei im ACMOS-Labor von ein und derselben Mitarbeiterin je 1 kg 37-5068 hergestellt und der Energieverbrauch (Heizplatte für Heißwasser und aufschmelzen der dispersen Phase sowie Turbine) mehrfach mit durchschnittlich 182 Wh/kg bestimmt. Der Anteil des Strombedarfs für die Herstellung der dispersen Phase liegt bei ca. 81 Wh/kg.

Bei der Hot-in-Cold-Betriebsweise werden ebenfalls 81 Wh/kg für das Aufschmelzen der dispersen Phase benötigt. Ansonsten benötigt man in diesem Verfahren nur noch die Energie der Hochdruckpumpe. Die benötigte Energie ist druckabhängig, d.h. es werden zusätzlich bei 1000 bzw. 500 bar Druck pro kg Emulsion 94 bzw. 62 Wh Strom benötigt.

	PIT Wh/kg	Hot-in-Cold Wh/kg
1 bar	182	-
500 bar	-	143
1000 bar	-	174
Reduktion Hot-in-Cold 500 bar	-	22%
Reduktion Hot-in-Cold 1000 bar	-	5%

*Tabelle 7: Gegenüberstellung der Gesamtenergieverbräuche der Laborfertigung von 1 kg 37-5068 mittels PIT und SEM-Verfahren (Betriebsweise „Hot-in-Cold“)*

Man erkennt deutlich, dass höhere Drücke die Energieersparnis auffressen. Bei einem zuletzt verwendeten Prozessdruck von 500 bar unter Verwendung einer zweistufigen Dispergiereinheit werden im Labormaßstab durch die SEM-Technologie ca. 22% Energie eingespart.

Tabelle 7 zeigt auch, dass die Energieersparnis bei Verwendung von hohen Drücken nahezu aufgezehrt wird. Im Folgeprojekt muss also darauf geachtet werden, die Produktionsdrücke des Blendenstroms möglichst niedrig zu halten.

Es ist ACMOS bis jetzt nur wenig über die Systemverluste einer auf der SEM-Technologie beruhenden Fertigung von Trennmitteln bekannt. Daher kann keine Energiebetrachtung nach Variante B stattfinden. Betrachtet man aber nach Variante A den Energieverbrauch ergibt sich für die Übertragung auf unser Modellsystem 37-5068 ein gemessener Energiebedarf des PIT-Verfahrens am Kessel 29 vor (siehe Seite 21) und nach den erfolgreich durchgeführten Prozessmodifikationsmaßnahmen (siehe Seite 23) verglichen mit dem berechneten Energiebedarf einer großtechnischen Anlage (Strombedarf nach Auskunft des Herstellers), welche die SEM-Technologie beinhaltet (siehe Tabelle 8):

Strombedarf	PIT kWh/t	PIT <sub>Energieeinsparung</sub> kWh/t	Hot-in-Cold kWh/t
Aufschmelzung disperse Phase	18,4	18,4	18,4
Heißwasser	37,8	27,8	0
Turbine, Rührer	3,0	3,0	0
Kühlung	11,2	8,8	6,4
Sonstiges	1,3	1,3	1,0
Hochdruckpumpe 500 bar mit einer Förderleistung von 2000 l/h Herstellerangabe	-	-	16,9
Summe	71,7	59,4	42,7
<b>Reduktion in %</b>	-	<b>17</b>	<b>40</b>

*Tabelle 8: Gegenüberstellung der Gesamtenergieverbräuche nach Variante A der großtechnischen Fertigung von 1 Tonne 37-5068 mittels prozessmodifiziertem PIT- und SEM-Verfahren (Betriebsweise „Hot-in-Cold“)*

In Tabelle 8 wurde berücksichtigt, dass eine Hochdruckpumpe beim Hot-in-Cold-Verfahren nur die Kaltwassermenge durch den Blendenstrom fördert. Beim Modellsystem entspricht dies nur 75% des Produktes, d.h. der Strombedarf reduziert sich.

Tabelle 8 zeigt ganz deutlich, dass die SEM-Technologie, auch unter Verwendung großtechnischer Anlagen, im Vergleich zum heutigen Fertigungsstand deutlich Energie einsparen würde, in unserem Fall knapp 40%. Selbst wenn man den geringeren Energiebedarf nach den Prozessmodifikationsmaßnahmen als Vergleich zugrunde legt, kommt man auf eine Energieersparnis der SEM-Technologie von knapp 30%.

In Arbeitspaket 1.3 wurde gezeigt, dass ohne Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses die Kombination aus Energieersparnismaßnahmen und Prozessoptimierungen eine Energieeinsparung nach Variante A von zusammen ca. 24% ergeben würde (siehe Tabelle 6). D.h. auch hier ist die SEM-Technologie mit einer Ersparnis von 40% im Vorteil.

Ein weiterer Vorteil ergäbe sich in der Einsparung von Transportenergie für den weltweiten Versand solcher Emulsionen, da bei entsprechenden Verbräuchen eine Produktionsanlage bei den entsprechenden Abnehmern aufgebaut und betrieben werden könnte. Es würden nur noch die Rohstoffe versendet werden (und nicht mehr wie bisher 90% Wasser über den ganzen Globus transportiert).

Schiffe als günstigste Verkehrsträger verbrauchen für eine Tonne pro 100 km 0,8 kWh an Transportenergie. LKW-Transporte benötigen für die gleiche Strecke 15 kWh. Die ACMOS Chemie exportiert jährlich etwa 6500 t Trennmittel nach Übersee. Diese werden dabei

durchschnittlich 300 km per LKW und 5000 km per Schiff transportiert. Der Aktivstoffanteil beträgt dabei etwa 650 t.

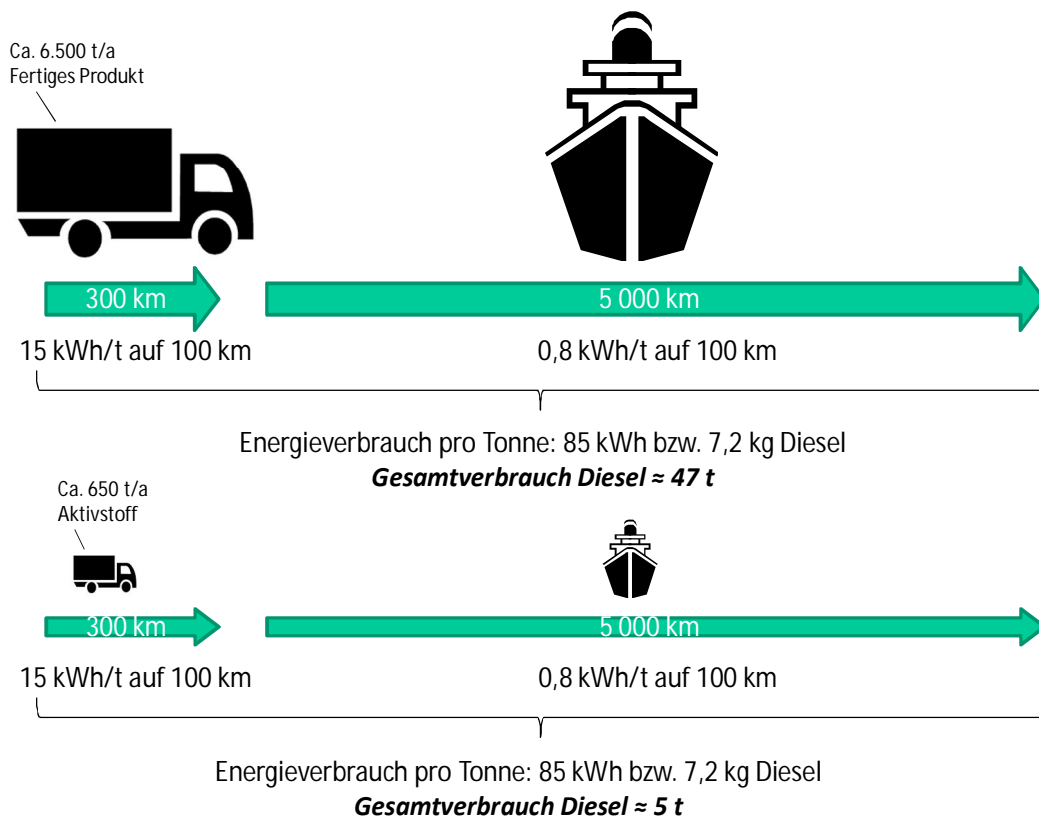


Abbildung 22: Abschätzung des Einsparpotenzials durch Transport des reinen Aktivstoffs und Fertigung der Dispersion vor Ort

Dieses Beispiel zeigt, dass durch den Transport des reinen Aktivstoffs und der Produktion vor Ort jährlich etwa 42 t Diesel eingespart werden können.

Es wird geschätzt, dass jährlich 10 % der insgesamt in Deutschland gefertigten Wachs- und Paraffinemulsionen auf ähnlichen Wegen transportiert werden. Mit Hilfe des SEM-Verfahrens ließen sich dann beim Transport der geschätzten 100.000 t Produktionsvolumen im Jahr mehr als 600 t Diesel einsparen und durch die verminderte Treibhausgasproduktion die Umwelt erheblich entlasten. Dies gilt natürlich auch für alle weiteren globalen Transporte.

### 5.3 Planung Pilotanlage

Mit Hilfe einer Pilotanlage, die noch im Rahmen dieses Projektes geplant wurde, soll in einem Folgeprojekt diese Anlage zunächst gebaut und damit die Herstellung von Trennmitteln mit der SEM-Technologie eingehend untersucht und optimiert werden. Abbildung 23 zeigt den prinzipiellen Aufbau der geplanten Pilotanlage.

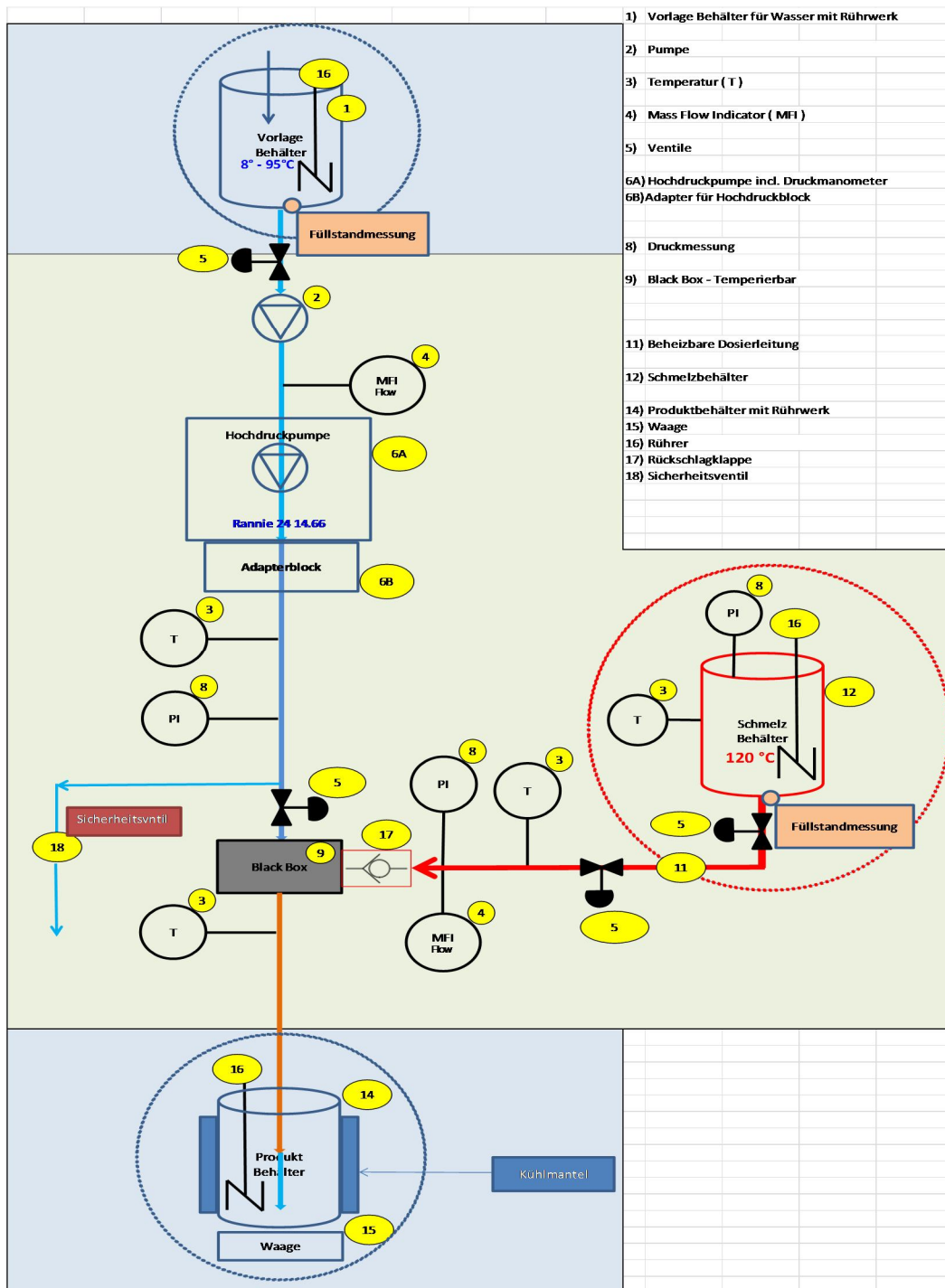


Abbildung 23: Skizzierter Aufbau der geplanten Pilotanlage

Kernstück der Anlage soll eine Hochdruckpumpe sein, welche einen Druck des Blendenstroms von 1500 bar erzeugen kann. Im Arbeitspaket 4.1.2 (siehe Seite 33) konnte gezeigt werden, dass die Produktstabilität im „Hot-in-Cold-Verfahren mit steigendem Druck steigt. Die LVT-Larboranlage konnte nur Drücke bis 1000 bar erzeugen. Um sich keine optimalen Produktionsfenster der Pilotanlage zu verschließen, sollen mit ihr Blendenstromdrücke von bis zu 1500 bar erzeugt werden können. Auf der anderen Seite ist bekannt, dass der Energieverbrauch von Hochdruckanlagen mit steigendem Druck stark ansteigt. D.h. die SEM-Technologie verbraucht dann ähnlich viel Energie wie die PIT-Technologie. Daher muss es das Hauptziel des Folgeprojektes sein durch mehrstufige Mischkammern den benötigten Blendenstromdruck zu senken um somit Energie einzusparen.

Die Anlage soll in der Lage sein, Trennmittel bis 200 Liter-Fassgröße fertigen zu können, um auch großvolumige Feldversuche unter Anwendungsbedingungen durchführen zu können.

Somit können Unterschiede im Aufbauverhalten oder Änderungen der Stabilität besser im Langzeitversuch detektiert werden.

#### 5.4 Dokumentation der FuE-Ergebnisse und Festlegung der Kriterien nach DIN EN ISO 9000 ff. für die QS nach Projektabschluss

Die FuE-Ergebnisse wurden im Projektverlauf kontinuierlich dokumentiert, analysiert und zwischen den Partnern diskutiert. Diese Dokumentationen der Partner bildeten die Grundlage zur vorliegenden Berichterstellung.

## Fazit und Ausblick

Ziel dieses Projektes war es, einen neuen Emulgierprozess zu entwickeln, der sowohl effizienter als auch umweltfreundlicher ist. Das Projekt konnte erfolgreich beendet und wesentliche Erkenntnisse für das geplante Folgeprojekt gewonnen werden.

In diesem Projekt konnte für ein ausgewähltes Modellsystem allein durch Modifikation des Herstellungsprozesses der Energieverbrauch des PIT-Verfahrens für reguläre Produktionschargengrößen um ca. 8% reduziert werden.

Das Projekt bewies, dass die SEM-Technologie mit der Betriebsweise „Hot-in-Cold“ geeignet ist, Trennmittel herzustellen. Die hergestellten Proben zeigten im Anwendungstest vergleichbare Resultate wie über das bei ACMOS etablierte PIT-Verfahren. Im Labormaßstab verbraucht die SEM-Technologie 22% weniger Energie als das herkömmliche PIT-Verfahren. Selbst wenn man den Energiebedarf des in diesem Projekt optimierten PIT-Verfahren mit der SEM-Technologie vergleicht (zugrunde liegen extrapolierten Stromverbräuchen entsprechender Produktionsanlagen bei Drücken von 500 bar), erhält man eine Reduktion von ca. 30%.

Das Verfahren ist nicht nur auf die Herstellung von Trennmittel beschränkt, werden doch jährlich allein in Deutschland ca. 1.000.000 t an Wachs- und Paraffinemulsionen hergestellt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnte in einer erweiterten Ökobilanzierung gezeigt werden, dass es aus wirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht sinnvoll wäre, über neue Distributionswege nur noch Rohstoffe in die weltweiten Märkte zu transportieren und die Trennmittel direkt vor Ort zu produzieren. Die für den Transport benötigte Energiemenge ließe sich hiermit um bis zu 90% reduzieren.

Die erfolgreiche Realisierung dieses Projektes ist ein gutes Beispiel für produktionsintegrierten Umweltschutz in einem Industriebereich der Kunststoffverarbeitung, wo dies bislang nur in einzelnen Segmenten möglich war.

Mit Hilfe einer Pilotanlage, die noch im Rahmen dieses Projektes geplant wurde, soll in einem Folgeprojekt diese Anlage zunächst gebaut und damit die Herstellung von Trennmitteln mit der SEM-Technologie eingehend untersucht und optimiert werden. Z.B. soll untersucht werden, ob sich auch bei größeren Herstellmengen die prognostizierten Energieeinsparungen einstellen bzw. durch mehrstufige Mischkammern und reduzierten Drücken weiter erhöhen lassen ohne die Produktqualität negativ zu beeinflussen. Zudem soll geprüft werden, ob stabile Emulsionen mit reduziertem Lösungsmittel- und Emulgatoranteil hergestellt werden können.

Ein weiterer Themenschwerpunkt soll sein, doch noch einen Zusammenhang zwischen Charakterisierungsergebnissen am LVT und Anwendungsergebnissen bei ACMOS zu finden. Somit sollen Charakterisierungsmethoden den Feldversuch vorhersehbar machen.



## Literaturverzeichnis

- [AFS04] Aguilar, F. A.; Freudig, B.; Schuchmann, H. P.: Herstellen von Emulsionen in Hochdruckhomogenisatoren mit modifizierten Lochblenden, Chemie Ingenieur Technik, 76, (4), S. 396-399, 2004
- [AKSS08] Aguilar, F. A.; Köhler, K.; Schubert, H.; Schuchmann, H. P.: Herstellen von Emulsionen in einfachen und modifizierten Lochblenden: Einfluss der Geometrie auf die Effizienz der Zerkleinerung und Folgen für die Maßstabsvergrößerung, Chemie Ingenieur Technik, 80, (5), S. 607-613, 2008
- [FS08] Frank, K.; Schuchmann, H. P.: Kleine Tropfen ganz groß: Emulgieren – bekannte Technologien mit Innovationspotential für neue Produkte, CIT plus, 1-2, S. 20-23, 2008
- [FT05] Freudig, B.; Tesch, S.: Tropfenzerkleinerung in Hochdruckhomogenisatoren in Emulgiertechnik 1, (Editor: Schubert, H.), S. 343-367, Behr's Verlag, Hamburg, 2005
- [K94] Karbstein, H.: Untersuchungen zum Herstellen und Stabilisieren von Öl-in-Wasser-Emulsionen, Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), 1994
- [KW99] Klyszcz-Nasko, H.; Wochnowski, H.; „Oberflächenphänomene nach Trennmittelapplikation“, 19. Schaumkunststoff-Tagung, Tagungsband: Polyurethan Formteile, neue Trümpfe im Wettbewerb, S. 149, Wiesbaden 1999
- [K02] Kessler, H. G.: Food and Bio Process Engineering - Dairy Technology, Verlag A. Kessler, München, 2002
- [KAHSS07] Köhler, K.; Aguilar, F. A.; Hensel, A.; Schubert, K.; Schubert, H.; Schuchmann, H. P.: Design of a Microstructured System for Homogenization of Dairy Products with High Fat Content, Chem. Eng. Technol., 30, (11), S. 1590-1595, 2007
- [KKSK08] Köhler, K.; Karasch, S.; Schuchmann, H. P.; Kulozik, U.: Energiesparende Homogenisierung von Milch mit etablierten sowie neuartigen Verfahren, Chemie Ingenieur Technik, 80, (8), S. 1107-1116, 2008
- [K10] Köhler, K.: Simultanes Emulgieren und Mischen, Logos Verlag, Berlin, 2010
- [KS11] Köhler, K.; Schuchmann, H. P.: Melt emulsification - is there a chance to produce particles without additives?, Particuology, 2011
- [S98] Stang, M.: Zerkleinern und Stabilisieren von Tropfen beim mechanischen Emulgieren, Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), 1998
- [TFS02] Tesch, S.; Freudig, B.; Schubert, H.: Herstellen von Emulsionen in Hochdruckhomogenisatoren - Teil 1: Zerkleinern und Stabilisieren von Tropfen., Chemie Ingenieur Technik, 74, (6), S. 875-880, 2002
- [U96] Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie 5 Auflage, Bd.23, S.269 und S.375, 1996