



SUMTEQ GmbH

Isolastr. 2

52353 Düren

„Erforschung der Prozesstechnik zur Entwicklung von Verarbeitungstechnologien und Erschließung innovativer Anwendungsmöglichkeiten für Polymer-Nanoschaum“

„FOAMProcess“

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 34672/01 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Alexander Müller und Michael Hoffmann

April 2021

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	34672/01	Referat	22	Fördersumme	558.000 €
Antragstitel	Erforschung der Prozesstechnik zur Entwicklung von Verarbeitungstechnologien und Erschließung innovativer Anwendungsmöglichkeiten für Polymer-Nanoschaum				
Stichworte	Polymer-Nanoschaum, Nanotechnologie, innovativer Werkstoff, Advanced Materials, Cleantech, Dämmung, Thermische Isolation, Energieeffizienz				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
2 Jahre und 8 Monate	01.05.2018	31.12.2020	1		
Zwischenbericht					
Bewilligungsempfänger	SUMTEQ GmbH Isolastr. 2 52353 Düren			Tel. +49 (0) 2421 99012 0	
				Projektleitung Michael Hoffmann	
				Bearbeiter Michael Hoffmann	
Kooperationspartner	va-Q-tec AG IABP - Institut für angewandte Bauphysik AG Hopfenveredlung St. Johann GmbH (NATECO ₂)				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ein wichtiger Aspekt zur Minderung der Klimaeffekte ist die Entlastung der Umwelt durch Einsparung von Heiz- und Kühlenergie. Als passive Maßnahme kann Energie maßgeblich durch die Verminderung von Transmissionswärmeverlusten eingespart werden, indem Werkstoffe mit niedrigen oder extrem niedrigen Wärmeleitfähigkeiten eingesetzt werden. Durch den Abschluss des ersten erfolgreichen Förderprojekts mit der DBU (Az: 33406) konnte durch Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik bereits solch ein Hochleistungswerkstoff Namens Sumfoam in Granulatform erzeugt werden. Hiermit ist es bereits möglich einige Dämmwendungen zu bedienen, viele weitere Anwendungen können jedoch erst durch eine Weiterverarbeitung des Granulats erschlossen werden. Vor allem die Erforschung und Entwicklung von spezifischen Mahlverfahren sowie verfahrenstechnischen Prozessen zur Formkörperbildung kann den Einsatz als Dämmplatte, Füllstoff und vielem mehr verbessern bzw. ermöglichen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

In dem hier vorgestellten FuE-Projekt soll die Weiterverarbeitung von Sumfoam-Granulat durch Mahlen und Thermoformen bis hin zum Technikumsmaßstab erforscht und die damit einhergehenden Auswirkungen auf die Dämmperformance bewertet werden. Wichtig für eine Nachhaltigkeit der Entwicklung sind eine Erprobung der Verarbeitbarkeit und die Dämmwirkung in den Endanwendungen. Dies erfolgt anhand von drei sehr unterschiedlichen Verarbeitungsformen für verschiedene Anwendungen: zuschneidbare Dämmplatten, Dämmputz und Vakuumisulationspaneel. Um die Entwicklung so nachhaltig wie möglich zu gestalten, werden assoziierte Partner aus den drei Anwendungsgebieten eingebunden. Dieses Projekt hat zum Ziel Hochleistungsdämmstoffe für einen wesentlich größeren Anwendungsbereich zu erschließen und damit eine umweltschonende und kosteneffiziente Hochleistungsdämmung verfügbar zu machen.

Ergebnisse und Diskussion

Hinsichtlich der Produktion und Anwendung von Sumfoam konnten wichtige Korrelationen zwischen Prozessen, Technologien und Materialeigenschaften für Sumfoam gewonnen und optimiert werden. Die Erkenntnisse aus dem Labor und dem 1. DBU-Förderprojekt konnten damit fundamental erweitert werden und ermöglichen nachgelagert ein präzises Engineering für die geplante industrielle Produktion. Neben den technischen Ergebnissen wurden auch wichtige Eigenschaften des Materials Sumfoam identifiziert, welche sich aus der Skalierung aus dem Labor zu Kleinserienproduktion ergeben haben. Wichtige Innovationszyklen haben zwei Materialklassen mit unterschiedlichen Eigenschaften hervorgebracht, um die versierten Kundensegmente in unterschiedlichsten Formen und Anforderungen bedienen zu können. Die Nachhaltigkeit im Vergleich zu Referenzmaterialien konnte dabei unabhängig von einer ersten Studie nochmals bestätigt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Neben der Ausstellung zusammen mit der DBU auf der K 2019 in Düsseldorf konnten durch verschiedene Fachvorträge, Tagungen, Wettbewerbe und anderen Veranstaltungen die Reichweite und der Bekanntheitsgrad von SUMTEQ und Sumfoam weiter gesteigert werden. Zudem wurden gerade zu Zeiten von Corona weitere mediale Kanäle erschlossen, welche den digitalen Bezug zur neuen Materialklasse ermöglicht haben. Ein komplett überarbeitetes mediales Auftreten auf diversen Sozialen Plattformen sowie eine neue Homepage sind nur beispielhafte Anmerkungen, welche zusätzliche Kooperationen und neue Anwendungsfelder zu uns geführt haben.

Fazit

Zusammengefasst kann vermerkt werden, dass die definierten Ziele weitestgehend erreicht wurden. Der Ausbau der internen Kapazitäten zur Rohwarenherstellung innerhalb der Technikums-Produktion hat sich als wichtiger Schritt zur Markterschließung und Produktentwicklung erwiesen. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieses Förderprojektes gewonnene Erkenntnisse aus Kleinserienproduktion und den damit bedienten Pilotierungsprojekten in die bereits gestartete Planungsphase der industriellen Ausbaustufe integriert und erprobt. Die im Rahmen dieses Förderprojektes gewonnenen Erkenntnisse bilden somit auch die Grundlage durch das Umweltinnovationsprogramm (UIP) unterstützte Industrialisierungsvorhaben von SUMFOAM.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	1
1. Zusammenfassung	9
2. Einleitung	11
3. Hauptteil	13
3.1 Arbeitspaket 1: Herstellung der Rohware Schaumgranulat	14
3.2 Arbeitspaket 2: Mahltechnologien und Kornumformung	20
3.3 Arbeitspaket 3: Formkörperbildung.....	23
3.4 Arbeitspaket 4: Anwendungsvalidierung - Formplatten.....	25
3.5 Arbeitspaket 5: Anwendungsvalidierung - Vakuumisulationspaneele	27
3.6 Arbeitspaket 6: Anwendungsvalidierung - Füllstoffe.....	29
3.7 Projektkosten und finanzielle Projektabwicklung.....	32
3.8 Außendarstellung und Öffentlichkeitsarbeit.....	34
4. Fazit.....	37

Abbildungsverzeichnis

Nummer	Beschreibung	Seite
Abbildung 3-1	Übersicht über die einzelnen Arbeitspakete sowie deren Interaktion untereinander.	13
Abbildung 3-2	Links: Polymerisationsreaktor im SUMTEQ-internen Technikum im Betrieb. Mittels Suspensionspolymerisation wird das flüssige Monomer in Polymer-Granulat überführt. Rechts: CO ₂ -Hochdruckextraktion. Mittels überkritischem CO ₂ werden dort Polymer-Granulatpartikel unter Hochdruck volumenaktiviert.	14
Abbildung 3-3	Fest-Flüssigtrennung der fertigen Reaktion durch Siebkörbe auf einer flüssigkeitsdichten Abtropfwanne. Die Trennung findet unter einem begehbaren Abzug und über Nacht durch gravimetrische Trennung statt.	15
Abbildung 3-4	Wirbelschichttrockner für die Chargentrocknung von Polymer-Granulat oder Schäumen. Der fahrbare Granulattrockner besteht aus einem Trockenlufterzeuger und einem hochwertigen Trocknungsbehälter. Durch den Venturi-Effekt wird das Granulat mittels Vakuumförderung in definierten Zyklen neu angesaugt und zusammen mit der Trockenluft im Kreis gefördert und umgeschichtet.	16
Abbildung 3-5	Links: Laborversuche verschiedener Polymerzusammensetzungen im Ausgangszustand des Polymer-Granulats und nach der CO ₂ -Extraktion. Rechts: Vibrationssiebmaschine mit verschiedenen Siebschnitten zur Klassierung der Korngrößen des Polymer-Granulats.	17

Nummer	Beschreibung	Seite
Abbildung 3-6	<p>Links: Polymer-Granulat während der Befüllung in den Schäumkorb. Nachgelagert wurde der Schäumkorb mit 5 Etagen aufgebaut und in den Extraktor eingeführt. Rechts: Mittels überkritischem CO₂ wurden Polymer-Granulatpartikel unter Hochdruck volumenaktiviert, diese nehmen danach nahezu das gesamte Füllvolumen der Schäumetage ein.</p>	18
Abbildung 3-7	<p>Links: Fertige Mengen Sumfoam für die Weiterverarbeitung im Maßstab einer Kleinserienproduktion. Dargestelltes Volumen ca. 0,5 – 1 cbm. Rechts: Sumfoam als Schaumgranulat kurz vor dem Versand zum Anwendungspartner oder Weiterveredelung.</p>	19
Abbildung 3-8	<p>Links: Geöffnete Schneidmühle für die Vermahlung des Sumfoam-Schaumgranulats in kleine Flakes. Durch Vermahlung in niedrigen Temperaturbereichen, kann die Beschädigung der Nanostruktur vermieden werden. Rechts: Sumfoam in Form von vermahlenden Flakes zur Lagerung und Trocknung an der Atmosphäre, um letzte Rückstände entweichen zu lassen.</p>	22
Abbildung 3-9	<p>Räumlichkeiten der Anwendungsentwicklung. Innerhalb der neu angeworbenen Flächen werden spezielle Tests für Anwendungspartner und der internen Forschungsarbeit durchgeführt. Hierzu wurde sukzessive ein Bestand an Apparaturen und Messeinrichtungen beschafft, um anwendungsorientierte Versuche durchführen zu können.</p>	23

Nummer	Beschreibung	Seite
Abbildung 3-10	Selbst hergestellte Versuchsplatten aus Sumfoam-Flakes und -Pulver	26
Abbildung 3-11	Gemeinschaftsstand der va-Q-tec AG mit der SUMTEQ GmbH. Präsentiert wurden neben den Hauptanwendungsfeldern der AG, die strategische Partnerschaft zwischen dem börsennotierten Unternehmen und dem Startup SUMTEQ. Als Ergebnis stand hierbei eine neue Generation Vakuumisoliationspaneele im Fokus, welche Sumfoam als neues Kernmaterial mit neuen innovativen Eigenschaften vorweisen konnten.	28
Abbildung 3-12	Sumfoam als Dämmputzsystem in der Praxisanwendung. Links: Schichtdicken von wenigen Zentimetern bestätigen den positiven Effekt von Sumfoam und können durch mit aufwendigen Wärmeverbundsysteme konkurrieren. Rechts: Die Anwendung von Sumfoam-Dämmputz zeichnet sich durch einfaches Handling und ohne Modifizierung innerhalb der Anwendung mit gängigen Putzmaschinen aus.	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Kosten- und Finanzplan des Gesamtprojektes
--------------------	--

32

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung / Einheit	Bedeutung
AP	Arbeitspaket
Az	Aktenzeichen der DBU
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Fa.	Firma
FuE	Forschung und Entwicklung
IABP	IABP - Institut für angewandte Bauphysik AG
IEX	Insulation Expo Europe
λ	Wärmeleitfähigkeit von Materialien
MMA	Methylmethacrylat (chemischer Rohstoff)
mW/m*K	Einheit der Wärmeleitfähigkeit in Milliwatt pro Meter und Kelvin
Sumfoam	Sub Microcellular Foam
VIP	Vakuumisolationspaneel

1. Zusammenfassung

Die Projektarbeiten wurden gemäß der im Förderantrag (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Aktenzeichen 34672/01) beschriebenen Arbeitspakete durchgeführt. Im Vergleich zur Planung haben sich lediglich folgende zentrale Änderungen ergeben:

- Abweichend von den im Antrag dargestellten assoziierten Projektpartnern innerhalb der Hochleistungs-Dämmputzanwendungen konnten neben dem IABP (Institut für angewandte Bauphysik) eigene Dämmputz-Rezepturen inkl. Pilotierungsprojekte mit zwei namhaften Baustoffherstellern erfolgreich umgesetzt werden.
- Ebenfalls waren externe Bestrebungen innerhalb der Formteilherstellung weniger zielführend, sodass der Fokus auf weitere innovative Selbstversuche gelenkt wurde. Daraus resultierten neue Produktsegmente sowie ein umfassendes Knowhow innerhalb der Formteilgebung, welches durch zusätzlich internes Personal und Ergebnisse nachhaltig erschlossen wurde.
- Durch die Auswirkungen der anhaltenden Corona-Pandemie konnten viele Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, innerhalb des zurückliegenden Geschäftsjahres 2020, nicht wie geplant umgesetzt werden. Neben den Kürzungen externer Forschungskapazitäten standen auch Fremddienstleistungen nur unter erschwerten Bedingungen zur Verfügung. Dies veranlasste die SUMTEQ GmbH dazu die internen Bestrebungen weiter auszubauen, um auch eigenes Wissen innerhalb der einzelnen Arbeitspakete nachhaltig aufzubauen. Dies spiegelt sich neben den Projektkosten, welche sich leicht zugunsten der Personalkosten verschoben haben, auch in der Projektlaufzeit wider. Das Forschungsvorhaben wurde abweichend vom avisierten Projektende 30.09.2020 um drei Monate bis zum 31.12.2020 verlängert.

Die primären Ziele des ersten Förderprojektes mit der DBU (1. DBU-Förderprojekt, Az: 33406), welches 2018 erfolgreich abgeschlossen wurde, waren die Herstellung und Optimierung von Sumfoam als innovativer neuer Polymer-Nanoschaum. Zentraler Erfolg war sowohl die interne Materialentwicklung im Labormaßstabe als auch die Fertigstellung des eigenen Technikums im März 2019. Die vollständige Inbetrieb- und Abnahme erfolgte Anfang Oktober 2019, um die Herstellung von Schaumgranulat als Rohware für weitere Verarbeitungsstufen selbst abzubilden. Diese Rohware wurde nun im Rahmen dieses zweiten Förderprojektes mit der DBU

in AP1 weiter optimiert und in kurzen Zyklen innerhalb der bestehenden Anlagentechnik selbst weiterentwickelt. Die gewonnene Geschwindigkeit und Produktionserfahrung ermöglichte nicht nur die Adaptierung von Erkenntnissen aus den AP4-6, welche zusammen mit dem Anwendungspartner erarbeitet wurde, sondern auch die eigenen Erfahrungen innerhalb der Herstellung und Mahlung des Sumfoam-Rohmaterials. Dabei wurden neue Materialklassen innerhalb von Sumfoam erschlossen, um einem breiten Spektrum an Kundenanforderungen nachkommen zu können. Zusätzlich wurden interne Versuchsreihen zur Mahlung und Sichtung mit eigens beschaffter Anlagentechnik durchgeführt. Diese wurden flankierend durch Fremddienstleistungen, wie der Lohnvermahlung, erforscht. Durch externe Aufträge konnten innovative Technologien, wie das Vermahlen und Sichten, in den Entwicklungsprozess effektiv eingebunden werden und somit das Sumfoam-Rohmaterial für den effizienten Einsatz von Sumfoam als Hochleistungsdämmung optimiert werden.

Die neu gewonnen Produktionsmengen innerhalb des Technikums, konnten bereits innerhalb der Anwendungsgebiete der Dämmputze, VIPs sowie weitere Spezialsegmente mit unseren Partnern geteilt werden. Die daraus resultierenden Erkenntnisse und Prototypen waren wichtige Meilensteine auf dem Weg zur Markteinführung von Sumfoam als Hochleistungsdämmung. Dabei konnten zum Beispiel im Bereich der Dämmputze technologische Durchbrüche erzielt werden, welche Grundlage für bereits unterzeichnete Absichtserklärungen waren.

Mit Blick auf die zukünftigen Skalierungsvorhaben der SUMTEQ GmbH, wurden umfassende Erkenntnisse zur bestehenden Anlagentechnik und Produktionsprozessen erarbeitet, welche bereits in nachgelagerte Engineering Prozesse eingebunden wurden.

2. Einleitung

Ein wichtiger Aspekt zur Minderung der Klimaeffekte ist die Entlastung der Umwelt durch Einsparung von Heiz- und Kühlenergie. Als passive Maßnahme kann Energie maßgeblich durch die Verminderung von Transmissionswärmeverlusten eingespart werden, indem Werkstoffe mit niedrigen oder extrem niedrigen Wärmeleitfähigkeiten eingesetzt werden. Stoffe oder Materialkombinationen mit geringen Wärmeleitfähigkeiten werden in der Abgrenzung zu herkömmlichen Dämmmaterialien als Hochleistungsdämmstoffe bezeichnet. Hochleistungsdämmstoffe sind in Form von Vakuumisulationspaneelen mit pyrogener Kieselsäure oder Aerogelen als Stützkern sowie Aerogelen in verschiedenen Kompositen oder gefüllten Materialien erhältlich. Aufgrund der aufwändigen Herstellverfahren sind diese bisher verfügbaren Hochleistungsdämmstoffe allerdings sehr kosten- und energieintensiv, so dass sie bisher nur bei besonders anspruchsvollen Anwendungen eingesetzt werden. Zudem ist ihr Einsatz aufgrund der relativ hohen spezifischen Masse und eingeschränkten Verarbeitbarkeit nicht in allen Einsatzbereichen möglich.

SUMTEQ hat mit Sumfoam, dem ersten Polymer-Nanoschaum-Dämmstoff, in den letzten Jahren eine wesentlich kosten- und ressourcensparende Alternative zu vergleichbaren Hochleistungsmaterialien entwickelt. Dass Sumfoam deutlich umweltschonender und wirtschaftlicher hergestellt werden kann als z. B. bisherige Hochleistungsdämmstoffe, wurde grundlegend innerhalb einer vorausgegangenen Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt erwiesen. Eine Demonstration des hochinnovativen Verfahrens mit einer großtechnischen Produktionsanlage ist aktuell in Planung und wird mit Hilfe eines Technologiepartners und der Förderung durch das Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit realisiert werden. Durch den Abschluss des ersten erfolgreichen Förderprojekts mit der DBU konnte, durch Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik, bereits solch ein Hochleistungswerkstoff Namens Sumfoam in Granulatform in einer Kleinserienproduktion nachhaltig reproduziert werden. Damit konnten bereits erste Anwendungen bedient werden. Viele weitere Anwendungen erfordern jedoch eine Weiterverarbeitung des Granulats. Vor allem die Erforschung und Entwicklung von innovativen Mahlverfahren und

Prozessen zur Formkörperbildung, kann den Einsatz als Dämmplatte, Füllstoff für Dämmputze und andere Dämmanwendungen verbessern bzw. ermöglichen.

In dem hier vorgestellten FuE-Projekt soll die Weiterverarbeitung von Sumfoam-Granulat durch Mahlen und Thermoformen bis hin zum Technikumsmaßstab erforscht werden. Wichtig für eine Nachhaltigkeit der Entwicklung ist eine Erprobung der Verarbeitbarkeit und der Performance und Usability in den Endanwendungen. Dies erfolgt anhand von drei sehr unterschiedlichen Verarbeitungsformen für verschiedene Anwendungen: zuschneidbare Dämmplatten, Vakuumisulationspaneele und Füllstoffe innerhalb der Dämmung sowie Leichtbaukonstruktion. Um die Entwicklung so nachhaltig wie möglich zu gestalten, werden verschiedene assoziierte Partner aus den drei Anwendungsgebieten eingebunden. Das gesamte Forschungsvorhaben hat zum Ziel, den innovativen nanoporösen Sumfoam für ein umfassenden Anwendungsbereich zu erschließen, damit umweltschonende und kosteneffiziente Alternativen für bestehende Technologien nachhaltig verfügbar zu machen.

3. Hauptteil

Das Projekt wurde anlehnend an die im eingereichten Förderantrag definierten Arbeitspakete bearbeitet. Hierbei standen zunächst die Arbeitspakete 1 bis 3 im Fokus, um die Reproduzierbarkeit und Anwendbarkeit von Sumfoam im Technikumsmaßstab zu validieren. Abbildung 3-1 gibt eine Übersicht über die einzelnen Arbeitspakete sowie deren Interaktion.

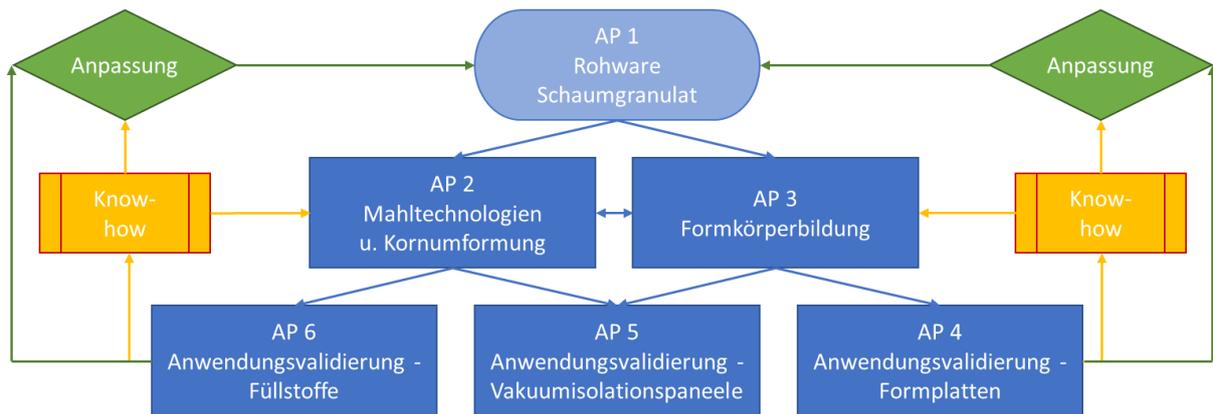


Abbildung 3-1: Übersicht über die einzelnen Arbeitspakete sowie deren Interaktion untereinander.

Im Arbeitspaket 1 wurde die Rohware hergestellt, die für die Herstellung von Sumfoam in den Arbeitspaketen 2 und 4 benötigt wurde. Das in diesen Arbeitspaketen hergestellte Schaumgranulat wurde im Anschluss in den Arbeitspaketen 4 bis 6 zu entsprechenden Produkten in den jeweiligen Anwendungen überführt. Alle Erkenntnisse und Ergebnisse wurden in den APs aus der Retrospektive analysiert und in wiederkehrende Entwicklungsschleifen eingepflegt. Diese umfassen sowohl die versierten Anwendungsfelder zusammen mit den Lead-Partnern als auch die eigene Herstellung des Ausgangsrohstoff Sumfoam als Schaumgranulat.

3.1 Arbeitspaket 1: Herstellung der Rohware Schaumgranulat

Wie ursprünglich in dem Förderantrag geplant wurde die Polymerisation der Polymer-Rohware durch den Ausbau des eigenen Technikums abgebildet.

Die Herstellung des Polymer-Nanoschaums hat einen der bedeutendsten Einflüsse auf die Ergebnisse der nachgelagerten Prozessschritte. Deshalb sind gerade die Erkenntnisse aus den verschiedenen Prozessparametern fundamentale Ergebnisse innerhalb des Arbeitspaketes 1. So konnte der Prozess innerhalb des eigenen Polymerisationsreaktors fast täglich neue Entwicklungszyklen durchlaufen, welche innerhalb der ebenfalls errichteten CO₂-Extraktionsanlage in kurzen Intervallen zur Rohware Schaumgranulat weiterverarbeitet werden konnten.



Abbildung 3-2: Links: Polymerisationsreaktor im SUMTEQ-internen Technikum im Betrieb. Mittels Suspensionspolymerisation wird das flüssige Monomer in Polymer-Granulat überführt. Rechts: CO₂-Hochdruckextraktion. Mittels überkritischem CO₂ werden dort eingelegte Polymer-Granulatpartikel unter Hochdruck volumenaktiviert.

In dem dargestellten Reaktor (s. Bild links) werden mittels Suspensionspolymerisation verschiedene Acrylcopolymere in Form von kleinen Polymer-Kügelchen hergestellt. In einem ersten Schritt werden die Ausgangsrohstoffe durch die Mitarbeiter vorkonfektioniert und der

Reaktion in definierten Schritten zugeführt. Dabei sind neben den genauen Mengenverhältnissen die zentralen Punkte die Geschwindigkeit der Zugabe, sowie Prozesstemperatur und die Rührgeschwindigkeit. Die Korrelation zwischen der Art des Rührorgans, der Rührgeschwindigkeit und der Partikelgrößen, waren die fundamentalen Ergebnisse der zurückliegenden Versuchsreihen. Zusammen mit der Modifizierung von Prozessabfolgen und neuen Rezepturen innerhalb der Additiven, ist es gelungen stabile Ausbeuten zu reproduzieren und für die Schäumung vorzubereiten.

Mittels eigens weiterentwickelten Rührorganen werden die flüssigen, reaktiven Komponenten („Öl“) in Wasser gerührt und härten während der Reaktion zu einem unreaktiven Polymer aus. Die Kugelform entsteht durch die Suspensionspolymerisation („Öl in Wasser“-Prinzip) von selbst. Das Wasser dient dabei einerseits zur Bildung der benötigten kugelförmigen Tropfen und andererseits kann aufgrund der sehr hohen Wärmekapazität von Wasser die entstehende Wärme aus der exothermen Reaktion der Polymerisation kontrolliert abgeführt werden. Die nachfolgende Fest-Flüssig-Trennung erfolgt aus Sicherheitsgründen innerhalb begehbaren Abzüge, bevor das Polymer-Granulat durch einen Wirbelschichttrockner (s. Abbildung 3-4) für die Siebung vorbereitet wird.



Abbildung 3-3: Fest-Flüssigtrennung der fertigen Reaktion durch Siebkörbe auf einer flüssigkeitsdichten Abtropfwanne. Die Trennung findet unter einem begehbaren Abzug und über Nacht durch gravimetrische Trennung statt.

Die Weiterverarbeitung des Polymer-Granulats erfordert sehr präzise Korngrößenverteilungen, weshalb eine nachfolgende Klassierung nach der Trocknung eine hohe Gewichtung sowohl in der Technologie als auch in der Prozesssteuerung einnimmt.



Abbildung 3-4: Wirbelschichttrockner für die Chargentrocknung von Polymer-Granulat oder Schäumen. Der fahrbare Granulattrockner besteht aus einem Trockenlufterzeuger und einem hochwertigen Trocknungsbehälter. Durch den Venturi-Effekt wird das Granulat mittels Vakuumförderung in definierten Zyklen neu angesaugt und zusammen mit der Trockenluft im Kreis gefördert und umgeschichtet.

Innerhalb der Siebung wird dann das Polymer-Granulat konfektioniert. Die hierbei entstehenden Ergebnissen aus Korngrößenverteilungen geben direkt erste Rückschlüsse auf die Effizienz der eingestellten Prozessparameter. In Abhängigkeit der nachgelagerten Anwendungssegmente wurde festgestellt, dass es auch sinnvoll ist, für bestimmte Anwendungen schon in der Polymer-Granulaterzeugung Additive oder Co-Polymere verschieden hinzuzufügen, um die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften zu steuern. So wurden zwei Kategorien von Produkten innerhalb der Polymerisation entwickelt, welche mit ihren Eigenschaften nach der Schäumung im weiteren Verlauf genauer beschrieben werden.



Abbildung 3-5: Links: Laborversuche verschiedener Polymerzusammensetzungen im Ausgangszustand des Polymer-Granulats und nach der CO₂-Extraktion. Rechts: Vibrationssiebmaschine mit verschiedenen Siebschnitten zur Klassierung der Korngrößen des Polymer-Granulats.

Nachgelagert zur Produktion des Ausgangspolymers, werden diese für die Schäumung vorbereitet. In diskontinuierlichen Schritten beschickt ein Mitarbeiter einen Schäumkorb, welcher eigens für den Hochdruckextraktor der SUMTEQ GmbH entwickelt wurde und für die Kapselung des Materials für die Volumenaktivierung mittels überkritischen CO₂ zuständig ist. Zentrales Merkmal der Extraktion ist die Schäumung unter Drücken von mehr als 100 bar. Im Schäumprozess wird mittels überkritischem CO₂ das Polymer extrahiert, wodurch es zu einer Volumenzunahme kommt und die innovative nanoporöse Struktur entsteht.

Wie auch innerhalb der Suspensionspolymerisation sind auch hier die Prozessparameter der entscheidende Faktor für die spätere Qualität. Dabei nimmt die Zeit des Extraktionsbatches zusammen mit der Temperatur zentralen Einfluss auf die Güte der nanoporösen Polymer-schäume. Durch unterschiedliche Steuerungszyklen innerhalb der Verfahrenstechnik, konnte der Schäumkorb mit unterschiedlichen Strömungsvolumina beaufschlagt werden. Dies hatte zur Folge, dass unterschiedliche Schäumergebnisse entstanden. Neben den Prozessparametern konnten zunehmend auch Erkenntnisse über den Einfluss externer Quellen auf den Prozess beobachtet werden. So nimmt die Außentemperatur, welche primär Einfluss auf den Lagertank nimmt, ebenfalls Einfluss auf den Produktionsprozess innerhalb der CO₂-Extraktion.

Bei sehr niedrigen Temperaturen fällt aufgrund thermischer Zustandsgleichungen von Gasen ebenfalls der Druck innerhalb geschlossener Behälter. Der eigentliche Überdruck des Tanks sorgt in Form eines Druckausgleichs im Normalbetrieb für die eigenständigen Betankung mit neuem CO₂. Während sehr kalter Tage muss dies eine zusätzliche CO₂-Förderpumpe unterstützen. Diese und weitere Erkenntnisse nehmen wichtigen Einfluss auf die weiteren Skalierungsbestrebungen während des Engineerings für den Ausbau der industriellen Produktionsstufe.



Abbildung 3-6: Links: Polymer-Granulat während der Befüllung in den Schäumkorb. Rechts: Mittels überkritischem CO₂ wurden Polymer-Granulatpartikel unter Hochdruck volumenaktiviert, diese nehmen danach nahezu das gesamte Füllvolumen der Schäummetage ein.

Innerhalb der Schäumung können aus unterschiedlichen Polymeren und angepassten Prozessparametern verschiedene Schaumgranulate erzeugt werden. Zum einen das KU-Material, welches sich durch Porengrößen von <70 nm auszeichnet. Die Hauptverteilung der Porengrößen von ca. 20-60 nm verleiht dem Material eine besonders hohe Kapillarität und Isolationsleistung. Wie bereits während des ersten Forschungsvorhabens zusammen mit der DBU umfassend erforscht, ist die Korrelation von Porengrößen zu Stegen innerhalb der Materialstruktur ausschlaggebend für die spätere Isolationsleistung und Kapillarität. Speziell die physikalischen Auswirkungen des Knudsen-Effekts nehmen dabei wesentlichen Einfluss auf den Wärmetransport durch das Material. Durch sehr feine Porenstrukturen wird dieser Effekt verstärkt genutzt. Zusätzlich führt die Vervielfältigung der Stege zu einer höheren Stabilität des KU-Granulats. Deshalb findet dies vermehrt in den Produktapplikationen Anwendung, wo

verstärkt Wert auf die dauerhafte Formstabilität gelegt wird. Die Schüttdichte des Materials kann innerhalb des Technikums mit $90\text{-}110\text{ kg/m}^3$ reproduziert werden.

Die zweite Materialvariante von Sumfoam zeichnet sich durch deutlich größere Poren und Korngrößenverteilungen aus. Dieses Material wird LP genannt und besitzt Poren zwischen $150\text{-}200\text{ nm}$. Durch die Reduktion innerhalb der Anzahl von Poren findet auch eine Reduzierung der Stabilität und Isolationsleistung statt. Im Gegensatz zur Reduktion der Isolationsleistung und Stabilität steigt durch die vergrößerten Poren, die Absorptionskapazität des LP-Materials und bedient damit vermehrt Applikationsfelder innerhalb der Füllstoffe. Zusätzlich besitzt diese Materialvariante eine geringere Schüttdichte von ca. $50\text{-}70\text{ kg/m}^3$. Durch das Spektrum oder Kombinationen dieser beiden Materialien kann SUMTEQ ein breites Feld an kundenspezifische Anforderungen adressieren und individuelle Produktlösungen mit dem Anwendungspartner im Hochleistungsdämmbereich entwickeln.

Mit der Pilotanlage im Technikum ist SUMTEQ erstmalig in der Lage großvolumige Pilotierungen mit dem Anwendungspartner durchzuführen. In den nächsten Kapiteln wird ausgehend vom Schaumgranulat, die dritte Wertschöpfungsstufe genauer beschrieben. Diese umfasst sowohl verschiedene Mahltechnologien und Klassierung als auch die Formkörperbildung zur anwendungsspezifischen Optimierung des Schaumgranulats für den Einsatz als Hochleistungsdämmstoff.



Abbildung 3-7: Links: Fertige Mengen Sumfoam für die Weiterverarbeitung im Maßstab einer Kleinserienproduktion. Dargestelltes Volumen ca. $0,5\text{ – }1\text{ cbm}$. Rechts: Sumfoam als Schaumgranulat vor dem Versand zum Anwendungspartner.

Angelehnt an die ökologischen Betrachtungen zum 1. DBU-Förderprojekt, wurde das Sumfoam Schaumgranulat als neue Materialklasse erneut von einer unabhängigen Institution untersucht. Die ökologische Bewertung, konnte zusammen mit der Hochschule Pforzheim, im Rahmen ein Projekts zur Ökobilanzierung von Sumfoam gestartet werden, welches bereits Ende Juni 2020 erfolgreich mit einem Berechnungsmodell umgesetzt wurde. Sumfoam weist, wie bereits im Rahmen der ersten Ökobilanzierung für das 1. DBU-Förderprojekt bestätigt, einen deutlich geringeren CO₂-Footprint auf als Referenzmaterialien wie pyrogene Kieselsäure oder Aerogele. Nachgelagert zur Ökobilanzierung, wurde zudem eine Masterarbeit mit der Hochschule Pforzheim formuliert, welche die grundsätzlichen Erkenntnisse zusammen mit den technischen Bestrebungen der industriellen Produktion zusammenführen und weiterentwickeln soll. Zielsetzung ist die Entwicklung einer nachhaltigen Wertstromdesign-Methode für Wertschöpfungsketten von produzierenden Technologie-Startups.

3.2 Arbeitspaket 2: Mahltechnologien und Kornumformung

Das im Arbeitspaket 1 hergestellte Sumfoam-Schaumgranulat wurde innerhalb des Forschungsvorhabens direkt in die nachgelagerte Weiterveredelung überführt. Ziel ist es adaptierte Kundenlösungen in den verschiedensten Marktsegmenten zu erzielen. Neben den einzigartigen Eigenschaften des Materials, stellt die korrekte Korngrößenverteilung sowie Kornformung einen zusätzlichen Mehrwert dar. So unterscheiden sich die Kundenanforderungen hinsichtlich der Verarbeitungstechnologie, der Anforderung an die Dichte oder des Handlings.

Durch verschiedene Mahltechnologien kann das Schaumgranulat zu Pulvern oder Flakes mit den unterschiedlichsten Korngemetrien weiterverarbeitet werden. Die nachfolgenden AP3 bis AP6 bilden dabei nur exemplarisch die Vielfalt ab, welche an die unterschiedlichen Kornformung von Sumfoam gestellt werden. Ziel dieses Arbeitspaketes war es das Mahlverhalten des Schaumgranulates intensiv zu erforschen, um aus diesen Erkenntnissen und Lösungsansätze für die Weiterverarbeitung durch den Anwendungspartner zu generieren. Dabei ist das oberste Ziel, die Performance in jedem Anwendungsfeld zu verbessern. Da es sich bei dem Schaumgranulat um ein temperatursensitives Material handelt, muss die Hitzeentwicklung beim Mahlvorgang besonders beachtet werden. Die Vermahlung bildet hier den

Ausgangspunkt. Die wichtigste Herausforderung besteht darin die notwendigen Korngrößen zu erhalten, ohne eine Dichteerhöhung des Schaums zu verursachen. Dazu muss das Granulat vor der Mahlung auf eine möglichst niedrige Temperatur gebracht werden, um entstehende Reibungswärme möglichst materialschonend abzuführen. Durch die Kühlung besteht eine weitere Herausforderung darin, die entstehende Kondensationsfeuchte aus dem Mahlgut nachträglich zu entfernen, um es anschließend zu lagern.

Neben der Anschaffung einer eigenen Schneidmühle, eines Trockenschrankes und einer Siebmaschine zur Klassierung, wurde hier zusätzlich auf Expertise und Kapazitäten externer Lohnvermähler zurückgegriffen. Innerhalb der eigenen Vermahlung kann aufgrund der Anlagentechnologie bislang nur die Verarbeitung des Schaumgranulats in Flakes erfolgen. Adaptiert auf die spätere Anwendungsapplikation können Korngrößen von 0,5 bis 4 mm erzeugt werden. Die Herstellung von Pulvern ist derzeit nicht durch die Anlagentechnik der SUMTEQ GmbH abbildbar. Hierzu wurden verschiedene Kampagnen bei der Lohnvermahlung gefahren. Durch die Expertise des Dienstleisters innerhalb der speziellen Mahltechnologie, konnten in den Aufträgen der Lohnvermahlung Pulverfraktionen von unter 20 bis 200 µm hergestellt werden. Neben den aktuell bekannten Anwendungsfeldern entstehen durch die unterschiedlichen Schneid- und Scherkräfte durchaus auch Fraktionen von bis zu 1000 µm, welche für nachgelagerte Entwicklungen und Produkte für den Anwendungspartner vorgehalten werden.



Abbildung 3-8: Links: Geöffnete Schneidmühle für die Vermahlung des Sumfoam-Schaumgranulats in kleine Flakes. Durch Vermahlung in niedrigen Temperaturbereichen, kann die Beschädigung der Nanostruktur vermieden werden. Rechts: Sumfoam in Form von vermahlenden Flakes zur Lagerung und Trocknung an der Atmosphäre.

Neben den Produktentwicklungszyklen wurde innerhalb der Herstellung auch verstärkt Fokus auf die Minimierung des Energieverbrauchs der Mahlverfahren gelegt. Mit zunehmender Planungstiefe für die weitere Skalierungsstufe, konnten bereits wichtige Erkenntnisse in Verbindung mit dem Verbrauch von Kühlmedien, der Zykluszeiten und Prozesstechnologie gewonnen werden. Diese und weitere Erkenntnisse sind bereits in das Engineering effizienter, industrieller Anlagen eingeflossen.

3.3 Arbeitspaket 3: Formkörperbildung

Das Verdichten und Verbinden von Partikeln und damit die Herstellung dreidimensionaler Objekte, geschieht in der Regel durch die Zugabe von Bindemitteln und der Einwirkung von erhöhtem Druck. Zusätzlich wird durch die Zugabe von thermischer Energie eine hohe Materialgüte erzeugt. Das AP3 beschreibt die angestrebten Ziele zur Formkörperbildung und liefert dabei zentrale Erkenntnisse für die spätere Verwendung in den AP4 und AP5.

Um dreidimensionale Objekte aus möglichst reinem Polymer-Nanoschaum zu erzeugen, müssen die Granulatkörner dauerhaft und formstabil miteinander verbunden werden. Ob ein rein thermisches Fügen oder eine Mischung aus Kleben und thermischen Fügen die besten Ergebnisse liefert, hängt dabei von den speziellen Applikationsanforderungen ab. Aufgrund der steigenden Komplexität innerhalb des AP1 und AP2, wurden speziell für die Weiterverarbeitung des Schaumgranulats in Flakes oder Pulver, eigene Kapazitäten für die Entwicklung geeigneter Verfahren und Versuche aufgebaut. Seit Mitte 2020 unterstützte das Projekt intern ein eigens dafür eingestellter Anwendungstechniker, im Bereich der Anwendungsentwicklung und Pilotierung. Zusammen mit der Intensivierung eigener Forschungsvorhaben, wurden weitere Flächen innerhalb des Industrieparks der Isola angemietet, um ein weiteres Labor und Versuchsräume zu errichten. Ergänzend wurden weitere Investitionen getätigt, um verschiedene Apparaturen und Messeinrichtungen zu beschaffen.



Abbildung 3-9: Räumlichkeiten der Anwendungsentwicklung. Innerhalb der neu angeworbenen Flächen werden spezielle Tests für Anwendungspartner und der internen Forschungsarbeit durchgeführt. Hierzu wurde sukzessive ein Bestand an Apparaturen und Messeinrichtungen beschafft, um anwendungsorientierte Versuche durchführen zu können.

Im Bereich weiterer Verfahren zur Formkörperbildung, konnten wichtige Partner für Leichtbau- und Sandwichkonstruktionen gewonnen werden. Hier wurden positive Tests durchgeführt, in dem Sumfoam zusammen mit Epoxidharz zu einem thermoisolierenden Leichtbauelement verarbeitet wurde. Die Verarbeitungsfähigkeit sowie mechanischen Eigenschaften wurden innerhalb verschiedenster Anwendungstests als sehr gut bewertet, sodass weitere Versuche sowie Produktpilotierungen stattfinden sollen.

Für den thermoisolierenden Leichtbau bringt Sumfoam eine besonders hohe Stabilität in Kombination mit einem geringen Gewicht mit. So lässt sich der Schaum als Kernmaterial von Sandwichelementen verwenden und ersetzt dabei Vollmaterialien. Weitere Anwendungen ergeben sich aus der Kombination von losen Schaum-Flakes in Kombination mit Harzen. Das Harzsystem umschließt dicht gepackte Schaumpartikel, wobei das gesamte Produktsystem bei hoher Stabilität einen erheblichen Gewichtsvorteil gegenüber Vollmaterialien und instabilerer Leichtbauelemente erzielt. Ein besonderer Einsatzbereich sind die Applikationen in Rotorblättern von Windkraftanlagen.

Im Bereich der Filtration ist es insbesondere notwendig, dass die Poren bei dem Formteil offen und durchlässig bleiben. Mit einer Porengröße < 50 nm ermöglicht Sumfoam als Formteil eine Filtration von Luft und Öl. Dabei können feinste Partikel aus den Medien gefiltert werden. Der Schaum lässt sich auch über verschiedene Verfahren benetzen oder chemisch aktivieren, so dass gezielt Stoffe in der Polymermatrix gebunden werden können. Versuche zur Durchlässigkeit, bzw. zur Offenporigkeit der Formteile stehen noch aus und folgen sukzessive auf die Formteiloptimierungen.

3.4 Arbeitspaket 4: Anwendungsvalidierung - Formplatten

Weitführende Gespräche und Marktrecherchen haben ergeben, dass kundenseitig in vielerlei Hinsicht großes Interesse an Formteilen aus nanoporösen Polymerschäumen besteht. Insbesondere stehen dabei die Komponenten „geringe Porengröße“, „hohe Stabilität“ und „geringes Gewicht“ im Vordergrund. Die Bandbreite der Einsatzgebiete erstreckt sich dabei von der Wärmedämmung, der Schockabsorption, dem Leichtbau bis hin zur Filtration. Für das letztgenannte Einsatzgebiet ist es notwendig, dass der Schaum auch nach der Verarbeitung zum Formteil noch offenporig ist.

Die erfolgreiche und vorzeitige Realisierung der Arbeitspakete 1 bis 3 ermöglichte eine intensivere Umsetzung innerhalb der Skalierungsstrategie. Die gewonnenen Kapazitäten aus dem AP1 und den Erkenntnissen in der Mahlung sowie Kornumformung, konnten innerhalb umfangreicher Skalierungsexperimente eingesetzt werden. Sowohl produktionstechnische als auch anwendungsorientierte Erkenntnisse und Maßnahmen konnten aus diesen Versuchen examiniert werden.

Neben den eigenen Bestrebungen zur Herstellung von verschiedenen Formteilen durch Sumfoam, konnten weitere Partner auf der Produktionsseite gefunden werden, mit denen innovative Ansätze innerhalb der Formkörperbildung weiterverfolgt werden. In verschiedenen Versuchen konnte eine erste Stabilität erreicht werden, sodass aufbauend auf diesen Ergebnissen weitere Versuchsreihen mit Anwendungspartnern geplant sind.

Parallel wurde in der internen Anwendungstechnik eine Packung aus Flakes und Pulver angesetzt, welche mit verdünntem Binder benetzt wurden. Die Packung aus Flakes und Pulver wurden dabei durch Laborapparaturen verpresst und getrocknet. Die selbst hergestellten Formteile besaßen Dichten von ca. 160 kg/m^3 und Lambdawerte von $<30 \text{ mW/mK}$. Diese Ergebnisse bestätigen die Hypothesen der Korrelation von Bindermengen zu eingesetztem Material. Neben der Bindermenge hat die Packung der Flakes in Relation zum eingesetzten Pulver einen großen Effekt auf die Wärmeleitfähigkeit.

Nachgelagert zu diesem Förderprojekt der DBU werden die Erkenntnisse zusammen mit den Anwendungspartnern in den unterschiedlichen Applikationen vertieft betrachtet und in reale Prototypen überführt.



Abbildung 3-10: Selbst hergestellte Versuchsplatten aus Sumfoam-Flakes und -Pulver.

Neben den im Projektantrag avisierten Anwendungsgebieten und Arbeitspaketen konnten weitere Spezialanwendungen identifiziert werden. Die allgemeinen Parameter von Materialien bezüglich Nanoporosität sowie mechanischen Stabilität bei geringer Dichte, sind auch innerhalb der neuen Anwendungsgebiete bedeutende Materialeigenschaften von Sumfoam, welche von den Anwendungspartnern mit großer Zustimmung bestätigt wurden. Im Bereich der Schockabsorption werden derzeit erste Formteile geprüft. Die ersten Ergebnisse haben gute Resultate erbracht. Ziel war hier bei gleicher Platzbeanspruchung bei einem Protektor einen Schaum einzusetzen, der diesen Protektor in eine höhere Schutzklasse versetzt. Die Vielzahl der Stege zwischen den Poren von Sumfoam und die homogene Verteilung sorgen für eine gleichmäßige Aufnahme und Verteilung der wirkenden Kraft. Weitere Versuche zur Optimierung stehen hier noch bevor.

Als zusätzliches Anwendungsgebiet wurde Sumfoam als Filtrationsmedium eingesetzt und evaluiert. Innerhalb dieses Anwendungssegmentes ist es von besonderer Bedeutung, dass die Poren bei dem Formteil offen und durchlässig bleiben. Mit einer Porengröße < 50 nm ermöglicht Sumfoam als Formteil eine Filtration von Luft und Öl. Dabei können feinste Partikel aus den Medien gefiltert werden. Dabei lässt sich der Schaum auch über verschiedene Verfahren

benetzten oder chemisch aktivieren, so dass gezielt Stoffe in der Polymermatrix gebunden werden können. Versuche zur Durchlässigkeit, bzw. zur Offenporigkeit der Formteile stehen noch aus und folgen sukzessive auf die Formteiloptimierungen.

3.5 Arbeitspaket 5: Anwendungsvalidierung - Vakuumisulationspaneele

Vakuumisulationspaneele bezeichnet eine Bauform, bei der verwendete Dämmmaterialien durch Vakuum dauerhaft formstabil zu einem Gesamtbauteil verbunden werden. Der assoziierte Partner und strategische Investor der SUMTEQ GmbH in diesem Bereich, ist die va-Q-tec AG. Sie gehört zu den weltweit führenden Herstellern dieser Hochleistungsmaterialien. Das VIP-Paneel besteht i. d. R. aus einem Kernmaterial (in Falle dieses Projektes Sumfoam), welches in einem speziellen Verfahren mit einer gas- und wasserdampfdichten Kunststoffolie umhüllt, evakuiert und verschlossen wird. Als Kernmaterial werden kleinzellige offenporige Materialien bevorzugt, um eine schnelle Evakuierung der Atmosphäre zu ermöglichen. Deshalb zeichnet sich Sumfoam in diesem Segment durch die offenzellige und nanoporöse Struktur, mit hoher mechanischer Stabilität bei vergleichbar geringer Dichte, besonders gut aus.

Auf Basis der zurückliegenden Ergebnisse aus dem 1. DBU-Förderprojekt, wurden erste größere Versuchsreihen durchgeführt. Die bereitgestellten Mengen aus der Technikums-Produktion entsprachen mehreren hundert Litern und verhalfen dem Forschungsvorhaben erstmals mehrere Prototypen herzustellen. Diese wurden im Rahmen umfangreicher Testszenarien in bereits bestehende Produkte der va-Q-tec integriert. Diese ersten Prototypen inkl. der gewonnenen Marktpotenziale konnten im Rahmen der Insulation Expo 2018 (IEX) bereits umfassend der Branche und dem Fachpublikum durch einen gemeinsamen Stand inkl. medialer Bewerbung präsentiert werden.



Abbildung 3-11: Gemeinschaftsstand der va-Q-tec AG mit der SUMTEQ GmbH. Präsentiert wurden neben den Hauptanwendungsfeldern der va-Q-tec AG, die strategische Partnerschaft zwischen dem börsennotierten Unternehmen und dem Startup SUMTEQ. Als Ergebnis stand hierbei eine neue Generation Vakuumisolationspaneele im Fokus, welche Sumfoam als neues Kernmaterial mit neuen innovativen Eigenschaften vorweisen konnten.

Die Produktionsskalierungen resultierten zunächst in einer Erhöhung der Dichte innerhalb der Paneele, wodurch die im 1. DBU-Förderprojekt erzielten Ergebnisse aus dem Labor in einem ersten Schritt nicht dauerhaft reproduzierbar waren. Durch mehrere Entwicklungs- und Optimierungsschleifen konnte Sumfoam-VIP während des Projektes wieder konstant auf das bekannte Performance Niveau gehoben werden. Modifizierungen im AP1 bis AP3 konnten das für die Paneele verwendete Pulver so weit optimieren, sodass weitere wichtige Erkenntnisse aus der Kleinserienproduktion für die nächsten Versuche und Skalierungsvorhaben der SUMTEQ gewonnen werden konnten. Weitere Versuchsreihen mit unterschiedlichen Korngrößen, Dichtepackungen und Materialvarianten sind bereits geplant und werden im Anschluss dieses Projektes weiterverfolgt. Grundsätzlich ist aber unverändert ein Markteintritt über die Hochleistungs-Kühlboxen fest eingeplant, sobald die industrielle Produktion von Sumfoam aufgenommen wird. Entsprechende Vereinbarungen und weitere strategische Überlegungen wurden bereits umfassend abgestimmt und festgehalten.

3.6 Arbeitspaket 6: Anwendungsvalidierung - Füllstoffe

Entsprechend AP 4 und 5 wurde auch die Validierung der Herstellung und Verarbeitung von Sumfoam für den Einsatz als Füllstoff erforscht. Einen Füllstoff in eine Matrix einzubetten, stellt vor allem innerhalb des Einsatzes in chemisch heterogenen Umgebungen besondere Anforderungen. Als Anwendungsbeispiel wurde Sumfoam als Füllstoff in Dämmputzen und Einblasdämmungen genauer erforscht und unter realen Szenarien getestet. Die Benetzbarkeit und das Misch- bzw. Fließverhalten in der Suspension sind dabei von entscheidender Bedeutung, um eine Gleichverteilung und optimale Funktion in der Anwendung zu gewährleisten.

Ziele der internen sowie externen Forschungsvorhaben war die Erstellung von Dämmputzproben und die Suche nach dem optimalen Basisputzrezepturen, welche der Optimierung hinsichtlich Festigkeit und Lambdawert unterliegen sollten. Zusammen mit dem zentralen Anwendungspartner im Bereich der Dämmputze konnten zu Beginn kleinste Putzproben mit bestehenden Rezepturen zusammengeführt werden, welche vielversprechende Isolationseigenschaften aufwiesen. Zusammen mit externen Forschungseinrichtungen konnten diese Rezepturen und Anteile von Sumfoam weiter optimiert werden, um erste Tests auf Putzmaschinen durchzuführen. Durch das gute Handling von Sumfoam in Kombination mit der erzielten Performance, entschlossen sich beide Parteien die Kooperation weiter zu vertiefen. Als Ergebnis wurde eine erste reale Testwand mit Sumfoam Dämmputz behandelt, um reale Testszenarien zu evaluieren. Hierbei konnte mit herkömmlichen Maschinen der Sumfoam-Dämmputz verarbeitet und Schichtdicken oberhalb von 7cm problemlos realisiert werden. Zusätzlich wurden neben den Unternehmungen mit dem zentralen Anwendungspartner ebenfalls Dämmputzsysteme mit weiteren Partnern genauer untersucht. Die bereits gesammelten Erkenntnisse konnten ebenfalls in praxisnahen Tests vollumfänglich bestätigt werden.

Neben den Test mit assoziierten Partnern wurde die Entwicklung einer eigene Dämmputzformulierung zur Erlangung zusätzlichen Know-hows entwickelt. Dies insbesondere mit dem Ziel sowohl herstellungs- als auch anwendungsseitig den Produktnutzen bezüglich der Leistung, Verarbeitung, und den daraus resultierenden Umwelteffekten konkreter bewerten zu können. Hierzu wurde eine Kooperation mit dem IABP (Institut für angewandte Bauphysik) aus der Schweiz aufgenommen. Zusammen mit dem Institut konnten erfolgreich mehrfach Dämmputzproben mit Lambdawerten von 38 mW/mK unterhalb der essenziellen Obergrenze von

max. 40 mW/mK reproduziert werden, welche nachgelagert an das Projekt innerhalb praxisnaher Applikationsversuche unter Baustellenbedingungen weiter optimiert werden sollen.



Abbildung 3-12: Sumfoam als Dämmputzsystem in der Praxisanwendung. Links: Schichtdicken von wenigen Zentimetern bestätigen den positiven Effekt von Sumfoam und können durch mit aufwendigen Wärmeverbundsysteme konkurrieren. Rechts: Die Anwendung von Sumfoam-Dämmputz zeichnet sich durch einfaches Handling und ohne Modifizierung innerhalb der Anwendung mit gängigen Putzmaschinen aus.

Ferner wurden intern mehrere Dämmputzproben bestehend aus unterschiedlichen Massenanteilen von Sumfoam Flakes und Putzsystemen erstellt, um Proben mit einer möglichst geringen Wärmeleitfähigkeit und hohen Festigkeit zu erstellen. Man beobachtete in der Trocknungszeit die Veränderung der Massen und damit einhergehend die Veränderung der Dichten. Die Festigkeit der Proben und die gemessenen Lambdawerte wurden bewertet. Dabei stellte sich ein optimaler Grundputz für die Erstellung von Dämmputzproben mit Sumfoam Flakes heraus. Im Anschluss soll weiter getestet werden bis zu welchem Massenanteil Leichtzuschlag die Dämmputzproben noch eine ausreichende Festigkeit besitzen, da mit einer Erhöhung der zugesetzten Leichtzuschlagmenge eine Reduktion des Wärmeleitfähigkeitswert einhergeht.

In einem weiteren Test variierte man den Zusatz von Pulver zu den Flakes, um die Festigkeit und die Wärmeleitfähigkeit noch weiter zu optimieren. Als Ergebnis erhielt man eine Dämmputzprobe mit einer Dichte von 230 kg/m³ und einem Lambdawert von 31 mW/mK, die die bis zum jetzigen Zeitpunkt die optimale Verbindung aus Festigkeit und einem niedrigen Lambdawert darstellt. Damit stellt sich heraus, dass der Sumfoam-Dämmputz eine vergleichbare Performance wie alternative Hochleistungsdämmputze aufweist. Wobei sich aber durch die

höhere Stabilität und weitaus geringeren Produktionskosten zusätzlich abgrenzen. Eine weitere Optimierung des Lambdawerts durch die Trübung des Leichtzuschlags mit Grafit konnte nicht erreicht werden.

Neben den Pilotierungen und Anwendungstests im Bereich der Dämmputze, konnte ein weiteres interessantes Anwendungssegment im Bereich der Füllstoffe identifiziert werden. Viele Europäische Wohnhäuser wurden in der Vergangenheit mit zweischaligen Mauerwerken oder Fassaden errichtet. Ähnlich zu dem Effekt einer Doppelverglasung, dienen die beiden Mauerwerke dazu eine Luftschicht zur Unterbrechung des Wärmeübertrags zu binden. Diese zusätzliche Luftschicht trägt dabei positiv zu Isolationsleistung und bestehenden U-Werten für Häuser bei. Hinsichtlich globaler Bestrebungen zu mehr ökologischem Handeln, werden diese Regularien europaweit angepasst und zum Nachteil der Hausbesitzer neu ausgelegt. Als wichtige Methode zur Nachrüstung und damit Erreichung neuer Effizienzstandards, kann hier eine Einblasdämmung als zusätzlicher Isolator zwischen den Mauerwerken eingebracht werden. Mit einem niederländischen Projektpartner konnte in einer Kooperation mit einer Hochschule ein neues Projekt zur Realisierung einer Einblasdämmung für den niederländischen Gebäudebestand aufgesetzt werden. Im Rahmen der thermischen Sanierung von Einfamilienhäusern in Holland sollen doppelschalige Mauerwerke nachträglich mit Sumfoam gedämmt werden. Herkömmliche Dämmstoffe können hier nicht eingesetzt werden, da der Raum zwischen den Mauern – in der Regel sind es ca. 6 cm – begrenzt ist und nur mit Hochleistungsdämmstoffen die gewünschte Leistung erbracht werden kann. Hierzu wurden mehrere Kubikmeter Sumfoam in Form von Flakes für erste Tests und später für die reale Dämmanwendung bereitgestellt. Neben dem Wärmetransport über die Luftmoleküle und das Material, kann durch Trübungsmittel die Übertragung von Infrarotstrahlung zusätzlich minimiert werden. Dies wirkt sich positiv auf die Gesamtperformance und damit auf die Isolationsleistung aus.

3.7 Projektkosten und finanzielle Projektabwicklung

Um die genannten Arbeitspakete, Ergebnisse und Ziele in messbaren Fakten darzulegen, werden in Tabelle 3-1 die Gesamtkosten des Projektes nochmals aufgeführt und die tatsächlich angefallenen Aufwendungen den bewilligten Zuschüssen gegenübergestellt und teils unvermeidliche Abweichungen erläutert.

Insgesamt summierten sich für den Zeitraum Mai 2018 bis Dezember 2020 die Gesamtprojektkosten auf ca. 1.285 TEUR. Dem Gegenüber stand ein ursprünglich budgetiertes Projektvolumen von 1.240 TEUR. Die Mehraufwendungen innerhalb der Arbeitsentgelte, Gemein- und Sachkosten resultieren aus den beschriebenen Änderungsmaßnahmen innerhalb der AP1 - AP3. Diese Mehrung konnte wie der ursprünglich vorgesehene Eigenanteil durch Eigenmittel abgedeckt werden.

Kostenart	05/2018 – 12/2020	Bewilligt Gesamt
Bruttoarbeitsentgelte	487.618 €	451.278 €
Gemeinkosten	585.143 €	541.534 €
Sachkosten	120.700 €	100.583 €
Fremdleistungen	70.307 €	95.000 €
Reisekosten	21.072 €	52.100 €
Gesamtkosten	1.284.840 €	1.240.495 €
Abruf	558.000 €	558.000 €
Arbeitsstunden (h)	20.808	17.730

Tabelle 3-1: Kosten- und Finanzplan des Gesamtprojektes

Aufgrund der teils drastischen Auswirkungen der Corona Pandemie auf externe Forschungs- und Kooperationsvorhaben, wurden im letzten Geschäftsjahr die internen Ressourcen hinsichtlich der Projektziele deutlich intensiviert. Die Reduktion und Rückstellung von externen Forschungsbestrebungen hatten zur Folge, dass das interne Personal der SUMTEQ stundenweit erhöht wurde. Zusätzlich verzögerten sich verschiedene Projekte aufgrund der Auswirkungen der Pandemie zeitlich so stark, sodass eine Verlängerung des geplanten Förderzeitraums um eine weitere Periode bei der DBU beantragt und bewilligt wurde. Die Verschiebung von fehlenden Fremddienstleistungen wurde durch internes Personal kompensiert. Als Beispiel wurde die Herstellung von Pulvern und Flakes aus AP2 teils zusätzlich inhouse abgebildet,

um eine schnellere und termingerechte Bereitstellung von Materialien für die verschiedenen Anwendungsentwicklungen sicherzustellen. Zur Verschiebung innerhalb der geplanten Kosten, führten ebenfalls die entfallenen Reisekosten, welche ebenfalls innerhalb der letzten Abrechnungsperioden komplett ausgesetzt wurden. Innerhalb der Sachkosten konnte man sich weitestgehend in dem vorgesehenen Budget bewegen, nur die Verlängerung des Förderzeitraums resultierte auch hier in erhöhtem Materialaufwand, sodass ebenfalls Mehrkosten entstanden sind. Die höheren Gesamtprojektkosten liegen somit weitestgehend innerhalb der Verlängerung des Förderzeitraums und der Umschichtung von Reisekosten und Fremddienstleistungen hin zu gestiegenem Personalaufwand und einhergehend höher ausgefallenen Gemeinkosten begründet.

3.8 Außendarstellung und Öffentlichkeitsarbeit

Im Laufe des Förderprojektes hat SUMTEQ zahlreiche Veranstaltungen besucht und Vorträge gehalten, um die neuartige Technologie zur Herstellung von Hochleistungsdämmstoffen mit einem breiten Fachpublikum zu diskutieren und das Förderprojekt und dessen Inhalt vorzustellen. Hierzu wurden folgende Veranstaltungen besucht:



Die IEX – Insulation Expo Europe in Köln ist eine der führenden internationalen Messe für Dämmstoffe und Isolier-technik. Mit über 250 Ausstellern aus der technischen Iso-lierungs- und Dämmstoffindustrie spricht sie ein großes Spektrum potenzielle Kunden der SUMTEQ GmbH an. Zusammen mit der va-Q-tec AG konnte SUMTEQ 2018 ein gemeinsames Produkt im Bereich der Vakuumisolationspaneele präsentieren.



Die FoamExpo in Stuttgart gehört zu Europas bedeutendsten Messen für Hersteller und Kunden von technischen Schaumstoffprodukten und -technologien sowie für die gesamte Lieferkette innerhalb dieser Branche. 2018 gastierte dort die SUMTEQ GmbH mit einem Konferenzbeitrag über Sumfoam vor Fachpublikum.



Im April 2019 konnte SUMTEQ zusammen mit den Autoren Dipl.-Biol. Verena Menz und Dr.-Ing. Jörg Lefèvre von der DBU, in einem Fachbeitrag innerhalb der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zu Hochleistungsmaterialien für klimaneutrale Gebäudeanwendungen publizieren. Hier wurde neben der Innovation Sumfoam zusätzlich die SUMTEQ GmbH als innovativer Unternehmen beworben.

ebenfalls den Innovationsgrad von Sumfoam und die bisherige Erfolgsgeschichte des Unternehmens der Öffentlichkeit präsentieren.



Im Chemie-Cluster Bayern vernetzen sich über 100 Unternehmen, Start-ups und Forschungseinrichtungen aus allen Bereichen der Chemie. Anfang Oktober 2019 konnte die SUMTEQ GmbH innerhalb des Clusters, in Form eines Onlineartikels, Sumfoam als neuartige Materialklasse einem großen Verbund von chemischen Unternehmen vorstellen.



SUMTEQ hat im Oktober 2019 erstmalig zusammen mit der DBU als Aussteller an der Leitmesse für Kunststoff + Kautschuk „K“ teilgenommen. Mit über 100 Standbesuchern ist die Messe als äußerst erfolgreich zu bewerten. Neben kundenorientierte Produktlösungen konnte der Förderträger zusammen mit SUMTEQ dem Fachpublikum eine beispielhafte und erfolgreiche Zusammenarbeit präsentieren.



Beim StartGreen Award 2019 wurde SUMTEQ unter 200 Teilnehmern unter die Top 3 gewählt und somit die Nachhaltigkeit des SUMTEQ-Geschäftsmodells unterstreicht. In der Kategorie Circular Economy wurde sowohl die Technologie als auch das Unternehmen sehr positiv bewertet.



Im Rahmen des globalen Nachhaltigkeitswettbewerbs ISC3-Award (Sustainable Chemistry Award) wurde 2019 die SUMTEQ-Technologie von Teilnehmern aus 6 Kontinenten als einer der 8 Finalisten nominiert. Neben der Nominierung innerhalb des Awards konnten hier weitere Kooperationen und mediale Aufmerksamkeit generiert werden.

Anfang Juni 2020 fand ein Termin mit Herrn Thomas Rachel (Parlamentarischer Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bundestagsabgeordneter Kreis Düren) und Thomas Hissel (Erster Beigeordneter und Stadtkämmerer der Stadt Düren) statt. In diesem Rahmen wurden die Zukunftspläne der SUMTEQ vorgestellt und bevorstehende Skalierungsprojekte mit möglichen Unterstützungen besprochen.

K-PROFI Im August 2020 wurde die SUMTEQ GmbH im Fachmagazin für Kunststoffverarbeiter K-PROFI mit einem Artikel beworben. In einem Artikel über die neue Materialklasse von Polymeren Nanoschäumen, konnte Dr. Alexander Müller die Einzigartigkeit dieser Materialklasse erneut präsentieren und den Anspruch an die Zeugungsfähigkeit von Sumfoam unterstreichen.



Im Oktober 2020 wurde die Innovation Sumfoam, nach einem aufwendigen Akkreditierungsverfahren durch verschiedene Branchenexperten, mit dem „Solar Impulse Efficient Solution Label“ ausgezeichnet. Die Stiftung Solar Impulse wurde mit dem Hintergrund gegründet, 1000 Lösungen auszuwählen, die die Umwelt auf profitable Weise schützen können, und sie Entscheidungsträgern vorzustellen, um ihre Umsetzung zu beschleunigen.

4. Fazit

Zusammengefasst kann vermerkt werden, dass die definierten Ziele grundsätzlich erreicht werden konnten. Der Ausbau der internen Kapazitäten zur Rohwarenherstellung innerhalb der Technikums-Produktion hat sich als wichtiger Schritt zur Markterschließung und Produktentwicklung erwiesen. Aus diesem Grund wurden bereits umfassende Erkenntnisse aus der Kleinserienproduktion in die geplante industrielle Ausbaustufe integriert und erprobt.

Hinsichtlich der Produktion von Sumfoam innerhalb AP1 (Herstellung Rohware Schaumgranulat) konnten wichtige Korrelationen zwischen Prozessparametern und geometrischer Anordnungen von Verfahrenstechnologien gewonnen und optimiert werden. Die Erkenntnisse aus dem Labor und dem 1. DBU Förderprojekt konnten damit fundamental erweitert werden und ermöglichen ein präzises Engineering für die geplante industrielle Produktion. Neben den technischen Ergebnissen wurden auch wichtige Eigenschaften des Materials Sumfoam identifiziert, welche sich aus den veränderten Prozessen der Kleinserienproduktion ergeben haben. Wichtige Innovationszyklen haben zwei Materialklassen mit unterschiedlichen Eigenschaften hervorgebracht, um die versierten Kundensegmente in unterschiedlichsten Formen und Anforderungen bedienen zu können.

Zentralen Einfluss innerhalb AP2 (Mahltechnologien und Kornumformung) nimmt die Mahlung als Produktionsschritt und Anlagentechnik ein. Die wichtigste Herausforderung besteht darin die notwendigen Korngrößen zu erhalten, ohne eine Dichteerhöhung des Schaums zu verursachen. Die durchgeführten Versuche auf internen sowie externen Mahlanlagen verhalfen zu wichtigen Erkenntnissen und Produktionsparametern innerhalb der Mahlung für den optimalen Einsatz von Sumfoam als Dämmstoffzuschlag. Neben der Herstellung der verschiedenen Flakes oder Pulvern in unterschiedlichsten Korngrößenverteilungen, stand dabei der effizientere Einsatz von flüssigem Stickstoff im Vordergrund, um den nachhaltigen Aspekt von Sumfoam weiter auszubauen.

Innerhalb AP3 (Formkörperbildung) wurden interne Kapazitäten aufgebaut, um ein internes und nachhaltiges Spektrum an Wissen rund um die verschiedenen Anwendungssegmente zu erarbeiten. Neben den verschiedenen Versuchen rund um thermisches Fügen oder

Mischungen aus Kleben und thermischen Fügen von Packungsdichten, konnten zudem neue Produktsegmente rund um Leichtbaukonstruktionen und Filtrationsanwendungen aufgezeigt werden.

Das AP4 (Anwendungsvalidierung – Formplatten) verhalf der SUMTEQ GmbH zu innovativen Erkenntnissen und Technologien zur Herstellung von Formplatten. Mit Hilfe innovativer Fertigungsverfahren, konnten wichtige Prozess- und Produkterkenntnisse gewonnen werden, welche nachträglich innerhalb der eigenen Anwendungsentwicklung kundenorientiert reproduziert werden konnten. Wichtige Erkenntnisse neben den Prozessparametern sind Zusammensetzungen von Korngrößen, Packungsdichten und dem optimierten Einsatz von Bindemitteln für die formstabile Fügung von Endprodukten.

Vakuumisolationspaneele aus AP5 konnten durch die Bereitstellung erster großvolumiger Mengen aus der Kleinserienproduktion, zusammen mit der va-Q-tec AG in bestehende Produkte eingebaut und umfangreich innerhalb realer Testszenarien evaluiert werden. Erste Auffälligkeiten rund um die Dichteentwicklung des Materials aus dem Labor zur Kleinserienproduktion, verhalfen nicht nur im AP5 sondern innerhalb aller Arbeitspakete zu wichtigen Erkenntnissen für die zukünftige Verarbeitung von Sumfoam. Als Ergebnis der verschiedenen Optimierungsschleifen konnten Performance-Niveaus wie aus dem 1. DBU Förderprojekt und dem Labor verzeichnet werden. Weitere Tests und Entwicklungsstufen stehen hierzu bereits an.

Aufgrund der umfangreichen Öffentlichkeitsarbeit, die insbesondere in Form von Messen, Tagungen und Konferenzen durchgeführt wurde, konnte die Sichtbarkeit des SUMFOAM-Projektes deutlich erhöht werden und es konnten weitere potenzielle Partner für die industrielle Produktion und Markteinführen identifiziert und akquiriert werden.

In Bezug auf die ökologische Bewertung von Sumfoam, konnte zusammen mit der Hochschule Pforzheim zudem ein Projekt zur Ökobilanzierung von Sumfoam gestartet werden, welches bereits Ende Juni 2020 erfolgreich mit einem Berechnungsmodell umgesetzt wurde. Sumfoam weist, wie bereits im Rahmen der ersten Ökobilanzierung für das 1. DBU-Förderprojekt bestätigt, einen deutlich geringeren CO₂-Footprint auf als Referenzmaterialien wie pyrogene Kieselsäure oder Aerogele.

Die für das gesamte Projekt gesetzten technischen sowie monetären Ziele konnten erreicht und zum Teil sogar übertroffen werden. Trotz grassierender Pandemie rund um SARS-CoV-19 und umfangreichen Einschränkungen von externen sowie internen Abläufen und Forschungsvorhaben, konnte durch die Verlängerung des Projektes durch die DBU ein durchweg positives Resümee verzeichnet werden.

Zudem konnten insbesondere die positiven Umwelteinflüsse hinsichtlich der Einsparung von CO₂-Emissionen nachweislich im Rahmen der erneut durchgeführten Öko-Bilanzierung unabhängig bestätigt werden. Die Verbesserungen der Produktionsabläufe und die Skalierung der Technologie werden die Ökobilanz zukünftig weiter positiv beeinflussen und bestätigen damit umso mehr die positiven Einflüsse von Sumfoam. Im Rahmen einer nachgelagerten Masterarbeit werden weitere Faktoren und Potenziale innerhalb der Wertschöpfungskette der SUMTEQ GmbH evaluiert und mittels einer eigens entwickelten Methode zur nachhaltigen Modellierung für die industrielle Skalierung der Produktion ressourceneffizient umgesetzt.