

Umwelttechnik in Baden-Württemberg



Herstellung ressourceneffizienter und klimaneutraler hochwertiger technischer Dämmstoff-Produkte – Posidonia-Dämmstoff –

Abschlussbericht zum Förderprogramm
"EFRE Umwelttechnik"
des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg



Europäische Union
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

investition in
Ihre Zukunft!



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Umwelttechnik in Baden-Württemberg

Autoren:

Gudrun Gräbe, Jörg Woidasky
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Pfinztal
Richard Meier
NeptuTherm, Karlsruhe
Axel Greiner
X-Floc Dämmtechnikmaschinen GmbH, Renningen

Unterauftragnehmer:
Fiber Engineering, Karlsruhe, RMC GmbH, Freiburg

Förderkennzeichen: UT 30-32
Laufzeit: 1.12.2009 – 15.9.2011

Das Projekt wurde je zur Hälfte mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des Operationellen Programms für das Ziel „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ und mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Oktober 2011



Europäische Union
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

investition in
Ihre Zukunft!



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Projektkoordination

Dr. -Ing. Gudrun Gräbe

Tel.: +49 721 4640-302

E-mail: gudrun.graebe@ict.fraunhofer.de

Dr. -Ing. Jörg Woidasky

Tel.: +49 721 4640-367

E-mail: joerg.woidasky@ict.fraunhofer.de

Fraunhofer Institut für Chemische Technologie

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 7

76327 Pfinztal

Projektpartner

Prof. Richard Meier

NeptuTherm

Im Speitel 56

76229 Karlsruhe

Tel.: +49 721 9463349

E-mail: richard.meier@NeptuTherm.de

Dipl.-Ing. Axel Greiner

X-Floc Dämmtechnikmaschinen GmbH

Industriestraße 64

71272 Renningen

Tel.: +49 7159 80470- 30

E-mail: axel.greiner@x-floc.com

Unterauftragnehmer

Dipl.-Ing. (FH) Egon Förster

Fiber Engineering GmbH

Schoemperlenstr. 11c-d

76185 Karlsruhe

Tel.: +49 721 5696757

E-mail: e.foerster@fiber-engineering.de

Dipl.-Wirt. Ing. (FH) Günter Monjau
RMC GmbH
Rehlingstrasse 16a
79100 Freiburg
Tel.: +49 761 45 65 22-15
E-mail: monjau@rmc-gmbh.de

Autoren

Dipl.-Ing David Frick (X-Floc GmbH)
Prof. Johannes Tröger (X-Floc GmbH)
Dipl.-Ing. (FH) Egon Förster (Fiber Engineering)
Prof. Richard Meier (NeptuTherm e.K.)
Dipl.-Wirt. Ing. (FH) Günter Monjau (RMC GmbH)
Dr. -Ing. Gudrun Gräbe (Fraunhofer ICT)
Dipl.-Ing (FH) David Böning (Fraunhofer ICT)
B. Sc. Christian Stier (Fraunhofer ICT)
Dr. Ana Claudia Nioac de Salles (Fraunhofer ICT)

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung im Rahmen des Vorhabens	1
1.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
1.3	Stand der Technik	4
2	Darstellung der Ergebnisse	8
2.1	AP1 Faseraufbereitung (ICT, NeptuTherm, X-Floc)	8
2.1.1	Faservereinzelung und Sandabscheidung	8
2.1.2	AP 1.3 Verfahrensoptimierung (X-Floc)	12
2.1.2.1	Staubmessung	12
2.1.2.2	Bau eines Setzungsprüfstand	14
2.1.3	Faseraufbereitung bei Neptutherm	15
2.2	AP2 Einblastechologie (X-Floc)	18
2.2.1	AP2.1 Massenstrommessung	20
2.2.2	AP2.2 Konzeption und Konstruktion einer auf die Faser abgestimmten Maschinenteknik	21
2.2.2.1	Verhalten im Gefach	22
2.2.2.2	Verarbeitung mit bestehender Maschinenteknik	23
2.2.2.3	Konzeption und Entwicklung einer auf die Faser abgestimmten Zellradschleuse	24
2.2.2.4	Entwicklung einer speziellen Posidonia Einblasmaschine	24
2.2.2.5	Alternative zu Zellradschleuse	26
2.2.2.6	Fazit Maschinenteknik für Posidonia	28
2.2.3	AP2.3 Aufbereitung verdichteter Dämmstoff und Kompositdämmstoff	28
2.2.3.1	Kompositdämmstoff	29
2.2.3.2	Erste Untersuchungen zur Bildung eines Kompositdämmstoffs aus Posidonia und federelastischen Spänen (FES)	30
2.2.4	AP2.4 Optimierung Betriebsbedingungen	31
2.3	AP3 Werkstoffentwicklung (FE)	33
2.3.1	AP3.1 Pflichtenheft Bindersystem	33
2.3.2	AP3.2 Identifikation Produkte/Binder	33
2.3.2.1	Bindefasern	33
2.3.2.2	Feste Binder in Form von Pulver, duroplastischer Aufbau	34
2.3.2.3	Flüssige Binder	34
2.3.3	AP3.3 Ergebnisbewertung u Auswahl Bindersystem	35
2.3.4	Binderauswahl für die Versuche am ICT	40
2.4	AP4 Dämmmattenherstellung	41

2.4.1	Arbeiten am Fraunhofer ICT	41
2.4.1.1	Siebkasten	41
2.4.1.2	Herstellung der „kleinen“ Matten (150 mm x 150 mm)	43
2.4.1.3	Mikrowellenstrahlung	45
2.4.1.4	Herstellung der großen Matten (450 mm x 450 mm)	47
2.4.2	Herstellung von Dämmplatten am ICT	48
2.4.3	Herstellung von Verbunddämmplatten aus Hanf und Posidonia (ICT)	48
2.4.4	Arbeiten bei Fiber Engineering (FE)	49
2.4.4.1	AP4.2 Mattenherstellung im Blasverfahren	50
2.5	AP5 Faserbauteilherstellung (FE)	53
2.5.1	AP5.1 Definition Anwendungsfelder (FE)	53
2.5.2	AP5.2 Fasermischungen thermoplast	54
2.5.3	AP5.2 Fasermischungen mit flüssigen Bindern	56
2.6	AP6 Produktqualifikation (FE/ICT)	57
2.6.1	Prüfungen an am ICT erstellten Matten	57
2.6.1.1	Erste Begutachtung der Matten	58
2.6.1.2	Wasserbeständigkeit der Verklebung	58
2.6.1.3	Dichtemessung	59
2.6.1.4	Wärmeleitfähigkeit	60
2.6.1.5	Brandverhalten	62
2.6.1.6	Druckversuch	62
2.6.1.7	3-Punkt-Biegeversuch	64
2.6.1.8	Einblasen der Fasern	65
2.6.1.9	Diskussion und Empfehlungen zu Bindemittel und Verfahren	66
2.6.2	Posidonia Faser im Automobilbereich (FE)	66
2.6.3	AP6.2 Akustik Bauteile	67
2.7	AP7 Umweltaspekte, Logistik und Marketing (RMC, ICT)	67
2.7.1	Konzeption einer Supply Chain (RMC)	67
2.7.1.1	Lokalisierung und Quantifizierung des Rohstoffvorkommens	67
2.7.1.2	Auswahl der Transportwege unter ökologischen Gesichtspunkten	70
2.7.1.3	Erstellen von Beurteilungskriterien für die Auswahl von Logistikdienstleistern	71
2.7.1.4	Standorte und Funktionsweisen der Zwischenlager	72
2.7.1.4.1	Fertiglager	73
2.7.1.4.2	Produktionslager	73
2.7.1.4.3	Dezentrale Rohstofflager	73
2.7.2	Konzeption Markteinführung	74
2.7.2.1	Segmentierung des Gesamtmarktes	74

2.7.2.1.1	Marktpotential	74
2.7.2.1.2	Abnehmergruppen	74
2.7.2.1.2.1	Psychographische Segmentierung	74
2.7.2.1.2.2	Demographische Segmentierung	75
2.7.2.1.3	Zielmarktbestimmung	76
2.7.2.1.3.1	Geographisch	76
2.7.2.1.3.2	Anwendungsspezifisch	77
2.7.2.1.4	Zusammenfassung	77
2.7.2.2	Wettbewerbsanalysen	77
2.7.2.3	Produktpolitik	78
2.7.2.4	Preispolitik	78
2.7.2.5	Distributionspolitik	79
2.7.2.6	Kommunikationspolitik	79
2.7.3	Ökobilanz (ICT)	80
2.7.3.1	Phase 1: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen	81
2.7.3.2	Phase 2: Sachbilanz (LCI):	82
2.7.3.3	Wirkungsabschätzung (LCIA):	84
2.7.3.4	Phase 4: Auswertung:	85
3	Zusammenfassung	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wärme-Dämmstoffe im Baubereich (Gesamtvolumen ca. 25 mio m ³ in Deutschland)	1
Abbildung 2: Agglomerat- und Faserstruktur des Posidonia-Seegrases.....	2
Abbildung 3: gefertigtes Sieb der Maschenweite 63 mm.....	8
Abbildung 4: Massen- und Volumenverteilung der Bälle nach Siebung	9
Abbildung 5: Masseabnahme der Posidonia-Agglomerate durch Rütteln	9
Abbildung 6: Sorptionsisothermen von Posidonia-Fasern. Beginn der Adsorptionsuntersuchungen mit naturfeuchten Fasern (links) sowie mit getrockneten Fasern (rechts).....	10
Abbildung 7: Faserlängenverteilungen von geschnittenen Agglomeraten in Abhängigkeit von der Faserfeuchte (Schneidmaschine: Alpine SM 20/12, Rundsieb 20 mm)	11
Abbildung 8: Staubentwicklung beim Einblasen.....	13
Abbildung 9: Staubmessung mit Staubsammelgerät vom Typ Gravicon	13
Abbildung 10: Setzungsprüfstand in Anlehnung an ISO/TC 163/SC 1 N 354 E	14
Abbildung 11: Änderung der Prüflast durch Variation der Fallhöhe.....	14
Abbildung 12: Kleine Schneidmühle	15
Abbildung 13: Große Schneidmühle.....	15
Abbildung 14: neue Anordnung mit Staubschutz- Einhausung	17
Abbildung 15: Zusätzliche Abluftöffnung	17
Abbildung 16: Einblasversuche an Probewänden	18
Abbildung 17: Sehr gutes Ergebnis mit modifiziertem (geseibtem) Material	18
Abbildung 18: Darstellung der Arbeitsweise einer Einblasmaschine	19
Abbildung 19: Entkoppeln des Messfeldes.....	20
Abbildung 20: Messaufbau DensFlow.....	21
Abbildung 21: Übersicht Verarbeitung Posidonia mit verschiedenen Einblasmaschinen.....	21
Abbildung 22: M99: Agglomeration zwischen Gehäusewand und Rührwerk führen zum Blockieren des Rührwerks	22
Abbildung 23: Problemstelle Ecke	23
Abbildung 24: Verbesserte Zellradschleuse	24
Abbildung 25: EMX250 Konzeptdarstellung	26
Abbildung 26: EMX250 Baustelle KA-Stutensee.....	26
Abbildung 27: Funktionsprinzip Schneckenschleuse	27
Abbildung 28: Aufbau Prototyp	27
Abbildung 29: Kompositdämmstoff (Prinzip und Mischungsbeispiel).....	29
Abbildung 30: Mischung 50% FES und 50% Posidonia.....	30
Abbildung 31: Schütt- und Setzungsdichte in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis von FES und Posidonia (Kurzprüfverfahren bei einer Prüfmasse von 4,1 Kg).....	31

Abbildung 32: Einblasen des Posidonia-Dämmstoffs von außen unter die Dachhaut.....	32
Abbildung 33: Bico vor der Aktivierung	34
Abbildung 34: Bico nach der Aktivierung.....	34
Abbildung 35: Bico nach der Aktivierung.....	34
Abbildung 36: Klebepunkte stark vergrößert	34
Abbildung 37: Hartes Trägerteil Posidonia	37
Abbildung 38: Posidonia Platte.....	39
Abbildung 39: Basaltsteinwolle/Baumwolle.....	39
Abbildung 40: Weiches Verbundteil	39
Abbildung 41: Duroplastische weiche Platte	40
Abbildung 42: Großer Siebkasten (450 mm x 450 mm x 100 mm)	42
Abbildung 43: Siebdeckel	42
Abbildung 44: Kleiner Siebkasten (150 mm x 150 mm x 150 mm).....	42
Abbildung 45: Abtropfposition der Siebkästen.....	43
Abbildung 46: TGA von Posidonia-Fasern	44
Abbildung 47: Drauf- und Vorderansicht der Mikrowellenanlage.....	45
Abbildung 48: Antenne des Mikrowellenstandes	46
Abbildung 49: Sicht in den Mikrowellenstand.....	46
Abbildung 50: Matten mit 14 Gew.-% A aus dem Trockenschrank (links) und 14 Gew.-% E aus der Mikrowellenanlage (rechts)	47
Abbildung 51: Schnittkante einer gepressten Posidonia-Platte mit Binder E.....	48
Abbildung 52: Prozessschema zur Herstellung der Verbunddämmatten.....	49
Abbildung 53: Versuchsanordnung 1 zur Verbundmattenherstellung und gelegte Matte nach dem Kreuzleger	49
Abbildung 54: Kastenspeiser	50
Abbildung 55: Feinöffner	50
Abbildung 56: Füllschacht.....	50
Abbildung 57: Blasmaaschine	50
Abbildung 58: BicoFaser kurz, 12mm.....	51
Abbildung 59: BicoFaser lang, 51mm.....	51
Abbildung 60: Werkzeug 500x500mm.....	51
Abbildung 61: Musterplatte	52
Abbildung 62: Brennprobe nach TL1010 (VW).....	52
Abbildung 63: Musterplatte nach intensiver Beflammung	52
Abbildung 64: Posidonia Platte.....	53
Abbildung 65: Anwendungen Faserformteile im Kfz	54
Abbildung 66: Press-Unterwerkzeug.....	54
Abbildung 67: Press-Oberwerkzeug.....	54

Abbildung 68: Einblas-Oberwerkzeug.....	55
Abbildung 69: Stirnwand Innen VW Passat.....	55
Abbildung 70: Detail Lenksäule	56
Abbildung 71: Detail Beifahrerseite	56
Abbildung 72: Stirnwand innen	57
Abbildung 73: Detail Fahrerseite	57
Abbildung 74: Dichten üblicher Dämmstoffe verglichen mit Posidonia-Matten	60
Abbildung 75: Wärmeleitfähigkeit der Matten in Abhängigkeit der Dichte.....	61
Abbildung 76: Wärmeleitfähigkeit üblicher Dämmstoffe verglichen mit Posidonia-Matten	62
Abbildung 77: Typischer Verlauf einer Druckprüfung	63
Abbildung 78: Druckmoduln aller gemessenen Proben	63
Abbildung 79: Biegemodul der Matten in Abhängigkeit des Bindemittelanteils	64
Abbildung 80: Bilder Biegeversuch Binder E 14 Gew.-%	65
Abbildung 81: Bilder Biegeversuch Binder A 14 Gew.-%.....	65
Abbildung 82: Matte (eingebblasen und ohne Druck hergestellt).....	66
Abbildung 83: Optimaler Verfahrensweg.....	66
Abbildung 84: Marktanteile Dämmstoffe in Deutschland	74
Abbildung 85: Sinusmileus.....	75
Abbildung 86: Demografische Entwicklung von Haushaltsvorständen.....	76
Abbildung 87: Geografische Zielmarktbestimmung.....	76
Abbildung 88: Anwendungsspezifische Zielmarktbestimmung.....	77
Abbildung 89: Produktpolitik	78
Abbildung 90: Distributionswege	79
Abbildung 91: Flussdiagramm für das Basis-Szenario (von Tunesien nach Deutschland).....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleichswerte mineralische Stoffe und Testversuch mit Posidonia	5
Tabelle 2: Ergebnisse mit den verwendeten BicoFasern (n: nicht, i.O.: in Ordnung).....	35
Tabelle 3: Klebefasern.....	36
Tabelle 4: Eigenschaften von Bindeharz	36
Tabelle 5: Detaillierte Versuchsergebnisse	38
Tabelle 6: Ergebnisse des Tauchversuchs.....	43
Tabelle 7: Bindemittelanteile von in Temperaturkammer und Trockenschrank erstellten Matten.....	44

Tabelle 8: Bindemittelanteile von im Mikrowellenstand hergestellten Matten	46
Tabelle 9: Daten hergestellter großen Matten	47
Tabelle 10: Bewertung der Bindung nach Matten-Lagerung im Wasser.....	59
Tabelle 11: Wärmeleitfähigkeitsmessungen an den großen Matten und einer losen Faserschüttung	61
Tabelle 12: Daten der eingeblasenen großen Matte	65
Tabelle 13: Befragungsergebnisse Spanien.....	69
Tabelle 14: Befragungsergebnisse Italien	69
Tabelle 15: Befragungsergebnisse Griechenland.....	70
Tabelle 16: Ökologische Transportwege	71
Tabelle 17: Ergebnisse der Datenerfassung	84
Tabelle 18: Ergebnisse der Datenzuordnung zu den Umweltkategorien	85
Tabelle 19: Ergebnisse der Szenarioanalyse für die Treibhausgasemissionen	86
Tabelle 20: Vergleich der Funktionellen Einheiten verschiedener Dämmstoffe	87

Abkürzungsverzeichnis

OEM = Original Equipment Manufacturer. (dt.: Hersteller des Originalerzeugnisses)

RBW = Recyclingbaumwolle

Bico = Bicomponents Fasern

FIM = Fiber Injection Moulding (Faserblasprozess)

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung im Rahmen des Vorhabens

Im Jahr 2005 wurden in Deutschland ca. 25 Millionen m³ Dämmstoff mit einem Naturdämmstoffanteil von ca. 5 % (Abbildung 1) im Baubereich¹ verbraucht, der europäische Dämmstoffverbrauch liegt bei 77 mio m³. Im Bereich der Kfz-Industrie werden jährlich etwa 91.000 t Naturfasern eingesetzt. Es wird erwartet, dass aufgrund der Umweltvorteile (CO₂-Neutralität, Erneuerbarkeit, potentielle Kreislaufführung) der Einsatz biogener Fasern in beiden Bereichen zunimmt. Im Baubereich wird entgegen dem Trend zu geringerer Bautätigkeit zum einen mehr Dämmstoff für die Dämmung im Bestand eingesetzt, zum anderen nimmt der Anteil biogener Fasern zu. Für diese Fasern werden daher jährliche Wachstumsraten bis 2020 in Höhe von bis zu 15 % in den nächsten Jahren und anschließend von rund 5 % vom Fraunhofer ISI prognostiziert. Gestiegene Rohstoff- und Energiepreise unterstützten auch im Kfz-Bereich den Markteintritt weiterer Werkstoffe, hier wird mit einem zusätzlichen Potential von mindestens 100.000 t/a Naturfasereinsatz gerechnet.

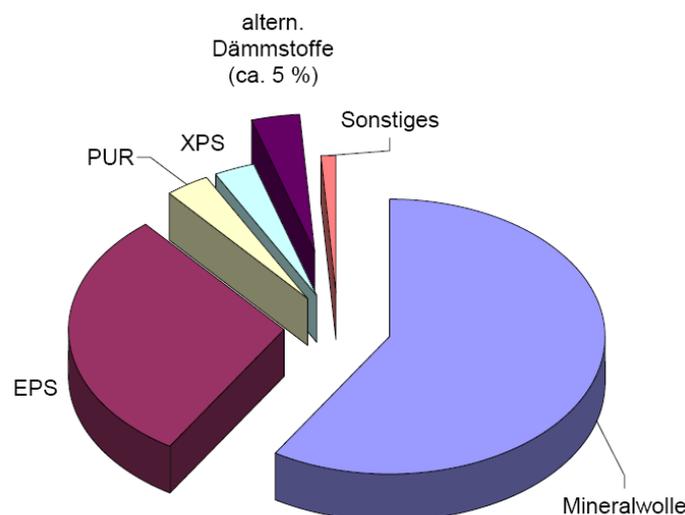


Abbildung 1: Wärme-Dämmstoffe im Baubereich (Gesamtvolumen ca. 25 mio m³ in Deutschland)

Vor diesem Hintergrund entstand die Motivation, neue innovative Dämmstoffe für die Bereiche Bau und Kfz zu entwickeln.

Seegrass nimmt im Vergleich zu den anderen Naturfasern eine Sonderstellung ein, da es nicht durch land- oder forstwirtschaftliche Prozesse hergestellt wird, sondern als marines Produkt auf keinen Fall in eine Flächen- oder Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelherstellung tritt und daher eine ungleich bessere Umweltleistung als alle bisher eingesetzten Naturfasern aufweist, die auch die Transportaufwände überwiegt. Diese Alleinstellung kann jedoch derzeit mangels vorhandener Techniken zur Produktherstellung aus diesen Fasern nicht genutzt werden, so dass hier Forschungs- und Entwicklungsschritte nötig sind, um den wachsenden Markt der Naturfaseranwendungen zu erschließen.

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung von Verfahren zur Herstellung naturstoffbasierter Dämmstoffe vorrangig für den Bau- und Automobilbereich. Basierend auf einem prozessorien-

¹ http://www.nova-institut.de/pdf/08-01-Flachs-Hanf_Buch_Carus_et_al.pdf, 29.07.2008

tierten Ansatz für die Faserverarbeitung sollte im Vorhaben ausgehend von den natürlich vorkommenden kugelförmigen Posidonia-Faseragglomeraten (Abbildung 2) eine Prozesskette zur Herstellung von mattenförmigen, einblasfähigen oder aber 3-D-geformten technischen Dämmprodukten für die Anwendung im Bau- und Kfz-Bereich aufgebaut und erprobt werden. Durch die energie- und ressourceneffiziente Verarbeitung von Naturfasern mit sehr guten technischen Eigenschaften sollten Dämmstoffe mit hervorragendem Umweltprofil hergestellt werden. Im Baubereich wird die Energieeffizienz insbesondere im Bestand durch Dämmstoffeinsatz in den kommenden Jahren gesteigert werden, so dass hier ein wachsender Markt entsteht. Gleiches gilt für ökoeffiziente Produkte im Kfz-Bereich, die eine hohe technische Leistungsfähigkeit mit einem guten Umweltprofil verbinden.

Zu Beginn der Prozeßkette müssen die Fasseragglomerate so aufbereitet werden, dass unter Beibehaltung der Ausgangsfaserlänge eine sandfreie Faserfraktion entsteht. Für die weitere Verarbeitung muß sichergestellt sein, dass ein gleichmäßiger Transport und ein Einblasen gewährleistet ist. Schließlich sollen geeignete Bindematerialien ausgewählt und neben konventionellem Thermobonding ein Verfahren zur Verklebung der Fasern mit mikrowellenaktiven Stoffen entwickelt werden. Für die Herstellung der flächigen Strukturen soll ein kontinuierliches Mikrowellenverfahren angepasst und angewandt werden. Der flächige Dämmstoff soll im Anschluß an das Projekt soweit entwickelt sein, dass er in technischem Maßstab hergestellt und vermarktet werden kann.



Abbildung 2: Agglomerat- und Faserstruktur des Posidonia-Seegrases

Neben den Dämm-Matten sollen auch 3D-Bauteile aus den Posidonia-Fasern hergestellt werden. Hierfür soll der bei Fiber Engineering vorhandene 3-D-Faserlegeprozeß fortentwickelt und an die Besonderheiten der Posidonia-Faser angepasst werden, so dass am Ende des Projektes ein marktgängiger Faserverbundwerkstoff vorliegt.

Im Rahmen des Projektes sollen die Materialeigenschaften des Dämmstoffs geprüft werden. Dies ist notwendig, um die Verfahren zu optimieren und um den Dämmstoff mit anderen marktgängigen Naturdämmstoffen vergleichen zu können.

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde in die Schritte Faseraufbereitung (AP1), Werkstoffentwicklung (AP2), Dämmmatten-Herstellung für den Baubereich (AP4), Dämmbauteil-Herstellung für den Kfz-Bereich (AP5) sowie die für AP3 bis AP5 notwendige Produktqualifikation (AP6) Ökobilanzierung, Logistik und Marketing (AP7) sowie das übergreifende Projektmanagement (AP8) gegliedert. Die ursprüngliche Arbeitsplanung wurde im Projektverlauf an die gewonnenen Erkenntnisse angepasst und ergänzt.

In AP1 wurden Verfahren geprüft und angepasst, um die Faseragglomerate schonend aufzuschließen mit dem Ziel, die natürliche Faserlänge durch das gewählte Aufschlussverfahren möglichst nicht zu kürzen. Als Benchmark diente dabei die Vereinzelung von Hand. Neben den verfahrenstechnischen Parametern der Faseröffnungssysteme wurde auch der Einfluss der Faserfeuchte auf das Zerkleinerungsverhalten bestimmt. Weiterhin wurde untersucht, wie der in den Agglomeraten enthaltene Sand effektiv abgetrennt werden kann.

AP2 diente der Optimierung der Einblasbarkeit der aufgeschlossenen Posidoniafaser in Gefache mittels Einblasmaschinen der Fa. X-Floc. Zur Optimierung der Einblasbedingungen wurde der Einfluss verschiedener verfahrenstechnischer Einblasparameter auf die Dichte und die Dichteverteilung im Gefach ermittelt. Es wurde eigens eine auf die Eigenschaften der Posidonia-Fasern abgestimmte Einblasmaschine entwickelt. Um das Setzungsverhalten aufgeblasener Dämmstoffe bestimmen zu können, wurde ein Setzungsprüfstand konzipiert und gebaut. Neben den reinen Posidonia-Fasern wurde auch ein Komposit aus Posidonia- und Hobelspänen untersucht.

In AP3 wurden zunächst die Anforderungen an die Bindersysteme zur Verklebung der Posidonia-Fasern festgelegt und in Absprache der Projektpartner untereinander Bindersysteme ausgewählt. Es wurden flüssige und pulverförmige Bindemittel sowie Bikomponentenbindefasern getestet. Parameter für die Beurteilung der Bindersysteme waren vor allem Flammhemmung, Verarbeitungstechnik, Mikrowellenaktivität und die Qualität der Bindung. Die Arbeiten zur Werkstoffentwicklung (Bindersysteme für Dauergebrauchsfähigkeit) in AP3 waren Grundlage sowohl für die Technologieentwicklung für Matten (in AP4) als auch für 3-D-Bauteile (in AP5).

AP4 hatte die Herstellung von Dämmmatten und/oder Dämmplatten für den Baubereich zum Ziel. Im Laborbereich wurden verschiedene Methoden zur Faserbenetzung mit Bindemittel sowie die Aushärtung zu Dämmmatten mit thermischer Bindung und in einem eigens dafür konstruierten kontinuierlichen Mikrowellenofen erprobt. Mit den dafür geeigneten Bindemitteln wurde die Mattenherstellung im Blasverfahren getestet. Da sich die Fasern als zu kurz für die alleinige Verwendung in textiltechnischen Maschinen erwiesen wurde entgegen der ursprünglichen Planung die Mattenherstellung im laufenden Prozess im Verbund mit Hanffasern hergestellt.

AP5 diente der Herstellung von dreidimensionalen Faserbauteilen für den KFZ-Bereich aus den Posidoniafasern. Getestet wurden neben den reinen Posidoniafasern auch Fasermischungen. Die Naturfasern wurden vor dem Einblasen in ein 3D-Bauteil zum einen mit thermoplastischen Bindefasern gemischt, zum anderen wurde auf die Fasern ein Binder aufgetragen und vernetzt. Für die erhaltenen Bauteile wurden neben den Prüfungen der Bauteileigenschaften (AP6) auch Akustikprüfungen durchgeführt werden.

AP6 dient der Prüfung der flächigen und räumlichen Strukturen mit geeigneten Prüfmethoden, wie Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert), Flammseigenschaften, Dichte, Druckfestigkeit und Beständigkeit der Bindung. Diese Prüfungen waren notwendig für die Produkt- und Verfahrensoptimierung sowie ggf. eine spätere Zulassung. Weiterhin wurden verschiedene Eigenschaften für die Einzelfasern untersucht und Analysen durchgeführt. Die neu entwickelte Einblasmaschine wurde an einem Bauprojekt erprobt.

AP7 hatte die Optimierung der Logistik der Rohmaterialbeschaffung und der Betriebs- bzw. Arbeitsorganisation zum Ziel, um eine deutliche Verbesserung der Ressourceneffizienz zu erreichen. Weiterhin wurden Vermarktungskonzepte zur Verbreitung und Marktdurchdringung der neuen Produkte entwickelt. Schließlich wurde eine Ökobilanz erstellt, um die Umweltleistung der Fasern beurteilen zu können.

Für das Projektmanagement war AP8 vorgesehen. Hier sind alle organisatorischen Arbeiten, die Koordination der Arbeiten und des Informationsaustausches, das Berichtswesen sowie der Ergebnistransfer enthalten.

1.3 Stand der Technik

Als Hauptkomponente der technischen Dämmstoffe wurden Seegrasfasern aus Posidonia-Pflanzen gewählt. Diese biogenen Fasern weisen neben der im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen (Glas-/Mineralfasern, Polymerschäume) eine erhöhte Ressourceneffizienz, keine Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelherstellung sowie eine sehr geringe biologische Abbaubarkeit und vor allem ein selbstverlöschendes Verhalten im Brandfall auf. Im Vergleich zu anderen biogenen Dämmstoffen wie Hanf oder Zellstoff kann so auf eine FlammSchutzrüstung verzichtet und dadurch ein Produkt mit einer deutlich verbesserten Umweltleistung hergestellt werden.

Dämmstoffmarkt

Der Einsatz von Dämmstoffen im Baubereich kann in die drei Bereiche Wärmeschutz, Schallschutz und Brandschutz unterteilt werden. Von der Beschaffenheit des Dämmmaterials wiederum kann in Einblaswerkstoffe und Plattendämmstoffe unterschieden werden. In allen Bereichen ist der Einsatz von Produkten aus Posidoniafasern denkbar.

Im Bereich des **Wärmeschutzes** dominieren heute die weltweit agierenden Hersteller von Schäumen aus Erdölderivaten (Polystyrolpartikelschaum (EPS), Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS)) Isocyanaten (Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR) oder Schaumglas sowie die Hersteller von Matten aus Glas- bzw. Mineralwollen. Auf Grund von Umweltaspekten, wie beispielsweise des hohen Energieverbrauchs bei der Herstellung und der teilweise endlichen Ressourcen hat sich in letzter Zeit eine Vielzahl von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen am europäischen Markt etabliert. Ein ähnliches Profil wie Posidonia-Fasern weisen folgende Dämmstoff-Ausgangsmaterialien auf: **Hanf, Holzfaser und Zelluloseflocken**, jeweils in loser Form zum Einblasen oder als Matte / Platte. Daneben gibt es Nischenprodukte aus **Baumwolle, Schafwolle, Kokosfasern, Kork, Gras und Seegras**.

In einer ersten orientierenden Messung an einem Handmuster aufgefaserte Posidoniawolle vor Projektbeginn wurde eine Wärmeleitfähigkeit von 0,042 W/mK ermittelt. Bereits mit diesem ersten Wert ist Posidonia konkurrenzfähig zu allen anderen nachwachsenden Rohstoffen (zum Vergleich: Zellulose 0,040-0,045 W/mK, Flachs 0,040 W/mK). Ziele der Forschung sind u. a. die Entwicklung der Einblastechnologie.

Je nach Ziel und Zweck der **Schalldämmung** (*Luftschall bzw. Trittschall*) werden zur Absorption heute überwiegend mineralische Faserwerkstoffe eingesetzt. Außer Schaf- oder Baumwolle sind die meisten Naturfasern zu grob für den Einsatz zur *Luftschalldämmung*. Vorgenannte sind jedoch auf Grund ihrer Brennbarkeit für diesen Einsatz nicht geeignet. Da die Posidonia-Fasern vergleichsweise fein und zudem „schwer entflammbar“, insektenresistent und verrottungssicher sind, eignen sie sich sehr gut für einen Einsatz zur Luftschalldämmung im Innenbereich, ohne die Brandlast des Gebäudes zu erhöhen.

Zur *Trittschalldämmung* werden aus dem Bereich der o.a. Naturdämmstoffe nur Korkschüttungen oder Korkplatten und Holzweichfaserplatten herangezogen. Die Herstellung einer flächenelastischen Platte aus Posidonia-Fasern erfordert nur eine Modifikation der Dichte und Bindung gegenüber der Wärme- bzw. Schalldämmmatte und kann daher noch im Rahmen des Projekts entwickelt werden.

Für den baulichen **Brandschutz** werden, sofern keine Anforderungen an den Wärmeschutz bestehen, üblicherweise Plattenwerkstoffe aus Gips und Kombinationen aus Gips mit synthetischen Fasern eingesetzt. Für Gebäude niedriger Höhe, aber auch für Holzbauten mit bis zu fünf Vollgeschossen, ist die Erfüllung der Anforderungen an den Brandschutz auch mit „schwer entflammbaren“ Dämmstoffen und Zusatzmaßnahmen z.B. durch Beplankung mit Gips- bzw. Gipsfaserplatten möglich. Hier können alle Dämmstoffe eingesetzt werden, die die entsprechende Zulassung haben. Die Posidonia-Fasern zeichnen sich dadurch aus, dass keinerlei Zusätze erforderlich sind, um diese Eigenschaft aufzuweisen.

Aufgabe von Stoffen zum Brand- und Feuerschutz an technischen Einbauten, Geräten und Feuerstätten ist der Schutz der Umgebung vor hohen Temperaturen und die Verhinderung der Entzündung umgebender Baustoffe. Bei den hier vorkommenden hohen Temperaturen kommen überwiegend Platten aus Silikat oder Kieselsäure zum Einsatz, deren Dämmwert mit höheren Temperaturen zunimmt. In diesem Bereich gibt es bis jetzt keine Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen. Voruntersuchungen haben ergeben, dass aus Posidonia-Fasern kombiniert mit anderen Werkstoffen oder Bindern feuerbeständige Platten hergestellt werden können, die auch hohen Temperaturen widerstehen.

Einsatzbereiche für Posidonia im Kfz

Während für den stationären Dämmbereich der Einsatz der Posidonia-Faser als Schüttung möglich ist, erfordert ihr Einsatz im Kfz grundsätzlich den Einsatz eines Bindersystems, um dem Faserbauteil eine Langzeitstabilität zu verleihen. Generell wird in die 2 Hauptbereiche **duroplastische** und **thermoplastische Bindung** unterschieden.

Für die **duroplastisch gebundenen** Bauteile kann weiter unterschieden werden in feste Trägerteile und weiche Akustikteile. Zu harten und weichen Teilen wurden bereits erfolgreich orientierende Vorversuche gefahren.

Für die weichen Akustikteile wurde bisher noch kein geeigneter Binder gefunden. Seine Identifikation und Ausprüfung war Aufgabe im geplanten Förderprojektes.

Erste harte Trägerteile wurden im Vorfeld gebunden und erzielten gute Werte.

Zusammen mit einem Zulieferer wurde Posidonia als Ersatz für bestehende Materialien im Bereich Motorkapselung angesehen. Dort werden bisher Basaltsteinwolle und Glasfasern verwendet. Erste Versuche zeigten mit Posidonia bessere Werte als die bisherigen Materialien. Allerdings wurden auch damit nicht die geforderten minimalen Grenzwerte erreicht, so dass weiterer Entwicklungsbedarf besteht.

Tabelle 1: Vergleichswerte mineralische Stoffe und Testversuch mit Posidonia ².

Materialien	E-Modul	Biegefestigkeit
Basaltwolle FG 3000g/m ²	1.070 MPa	22,4 MPa
Glasfaser FG 2000g/m ²	643 MPa	9 MPa
Glasfaser FG 900g/m ²	719 MPa	13 MPa
Seegrass Posidonia	2.630 MPa	55 MPa
Ziel für Motorkapselung (DAF)	3.000 MPa	80 MPa

Auch hier besteht Bedarf an systematischen Versuchen, welche das Anwendungsfenster von Posidonia als Trägerbauelement im Rahmen des Förderprojekts aufzeigen können.

Ein Ersatz bestehender Materialien Glasfasern und Basaltwolle durch Posidonia würde das Recycling verbessern, und bessere Materialeigenschaften erzeugen, wie in Tabelle 1 ersichtlich. Infrage kommende Teile bei Pkw und Nfz wären Motorkapselung, Unterbodenschutz, Radhausauskleidung.

Im Falle der **thermoplastisch gebundenen** Bauteile sollten Versuche mit Klebesystemen wie Bikomponentenfasern (Bico) und PP-Fasern durchgeführt werden.

Speziell die Eigenschaften „schwer entflammbar“ und „Feuchte resistent“ machen Posidonia interessant für Bauteile wie Bodenisolierung Kofferraum oder Auskleidungen.

² Daten von Fa. AKsys vom Juli 2008

Auch als Beimischung zu anderen Fasermischungen wäre der Einsatz des Seegrass denkbar, um die Eigenschaften von Fasermischungen aus Baumwolle und/oder Polyester positiv zu beeinflussen. Bauteile sind hier Boden- und Stirnwandisolierung, Hutablage, Sitzpolster, Kopfstützen, Radhausverkleidung innen und Dachhimmel.

Bindeeigenschaften sollten im Rahmen des Förderprojektes untersucht werden.

Für den Brand- und Feuerschutz in Fahrzeugen und in der Luftfahrt werden überwiegend Dämmstoffe zur Wärme- und Schalldämmung und zum Schutz gegen Vibrationen benötigt, die feuerhemmend oder nicht brennbar ausgebildet sein müssen. In der Vergangenheit kamen die gleichen Stoffe wie im Bauwesen zum Einsatz. Durch den geforderten ökologischen Ansatz werden hier nachhaltige Alternativen gesucht. Es gibt viele Versuche der Substitution der synthetischen Faserstoffe durch Naturfasern. Es fehlt aber noch eine tragfähige Lösung. Voruntersuchungen hatten ergeben, dass es möglich ist, in der Kombination von Posidonia- Fasern und anderen Werkstoffen oder Bindern feuerbeständige Dämmmatten oder feste Platten herzustellen.

Verfahrenstechnik

Die Werkstoff- und Verfahrensentwicklung standen im Zentrum des Vorhabens mit dem Ziel, neben umweltfreundlichen Produkten auch eine Wertschöpfung durch Anlagen- und Produktherstellung in Baden-Württemberg zu realisieren.

Es sollte eine Methode gefunden werden, die Fasern mit den Bindemitteln zu benetzen. Angestrebt war es, die Trocknung und Verklebung der Fasern mittels Mikrowellen zu testen, die als besonders energieeffizienter Weg des Energieeintrags (gezielte Erwärmung nur an den Fügstellen) gelten können. Im Gegensatz dazu verwenden konventionelle Verfahren große Warmluftmengen und lange Dämmstoff-Behandlungszeiten, da Dämmstoffe ja gerade eine geringe Wärmeleitung aufweisen sollen. **Vorversuche** ergaben, dass mittels Mikrowellentechnik eine schonende und gleichmäßige Trocknung des Bindemittels möglich ist. Daher soll die Mikrowellentechnik in Form eines Durchlaufofens erstmals zur Herstellung von Dämmstoff-Matten Anwendung finden. Darüber hinaus werden Anpassungsentwicklungen zur Faseraufbereitung und -verarbeitung durchgeführt, zum Teil können Analogien zur Holzfaserverarbeitung gezogen werden.

Mikrowellen sind nichtionisierende elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von 300 MHz bis 300 GHz. Insbesondere werden Mikrowellen in der Kommunikations- und Radartechnik sowie zur Erwärmung von Materialien angewandt. Die Mikrowellenerwärmung basiert auf verlustbehafteten Polarisationsvorgängen in den Materialien, welche durch Wechselwirkung des elektrischen Feldes mit freien oder gebundenen Ladungsträgern entstehen. Abhängig vom molekularen Aufbau eines Werkstoffs kann dieses über seine polare Struktur oder seine elektrische Leitfähigkeit Mikrowellen absorbieren. Mikrowellen besitzen dank ihrer großen Wellenlänge eine hohe Eindringtiefe in vielen Dielektrika. Damit ist es möglich, kontaktlos Wärme tief im Werkstoff zu deponieren. Die Erwärmung verläuft volumetrisch und wird unabhängig von den Wärmeleitungseigenschaften. Deshalb bieten Mikrowellen beim Kleben von Seegrass entscheidende Vorteile.

Die Prozesstechnik mit Mikrowellen ist vielen technischen Bereichen noch Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten. Bedingt durch hohe Energie und Investitionskosten der Mikrowellen verglichen mit konventionellen Systemen lohnt sich der Einsatz nur, wenn ein wirtschaftlicher Sondernutzen durch die Mikrowellentrocknung erzielt wird. Ein solcher Sondernutzen besteht beispielsweise beim Kleben von Dämmmaterialien .

Vor diesem Hintergrund werden Mikrowellen industriell zum Trocknen von Holz, Nahrungsmitteln, feuchtem Mauerwerk oder in Kombination mit Vakuum zur Trocknung von pharmazeutischen bzw. kosmetischen Stoffen eingesetzt. In diesen Anlagen werden die Produkte vollständig mit Mikrowellen bestrahlt. Oftmals wird im Stand der Technik von system-immanenten Problemen der Mikrowellentrocknung berichtet, wie z.B. Hot-Spot Bildung, unkontrollierte Ankoppe-

lung, elektrische Überschläge. In diesen Projekten werden die Bauteile komplett in einem so genannten Multimodeofen getrocknet. In einem Multimodeofen bildet sich eine nicht zu reproduzierende elektromagnetische Feldverteilung aus, die zu einer inhomogenen Trocknung des Bauteils führen kann. Unkontrollierte Ankoppelung oder elektrische Überschläge treten nur auf, wenn eine einfache und oftmals unzureichende Mikrowellentechnologie eingesetzt wird, die nicht an die dielektrischen Eigenschaften der zu trocknenden Materialien angepasst ist. Eine reproduzierbare und kontrollierbare Trocknung eines Materials ist möglich, wenn Mikrowellentechnik und das zu trocknende Material im gesamten betrachtet werden.

In diesem Projekt sollte eine an das Aufgabengebiet angepasste Mikrowellentechnik verwendet und optimiert werden. Dies ist nicht Stand der Technik. In einem EU-Projekt wurde erstmals gezeigt, dass die reproduzierbare und gesteuerte Erwärmung von Bauteilen mittels eines Mikrowellenantennensystems realisierbar ist. Damit sind die system-immanenten Probleme der Mikrowellenverfahrenstechnik und insbesondere der Mikrowellentechnik gelöst. Die homogene Erwärmung wurde durch den Einsatz von Antennen erreicht, die einen lokalen Erwarmungsspot auf der Probe erzeugen, der im Wesentlichen der Geometrie der Antenne entspricht. Damit ist eine eindeutige Zuordnung der Mikrowellenquelle auf den Erwarmungsspot möglich und eine gezielte Steuerung der Mikrowellenenergie überhaupt möglich. Eine flächige homogene Erwärmung eines Produktes wird dadurch erzielt, in dem die Antennen aneinander gereiht werden. Dieses Antennensystem wurde vom Fraunhofer ICT zum Patent angemeldet.

Die grundlegenden Patente und Veröffentlichungen zum Thema Prozesstechnik mit Mikrowellen wurden bereits seit Jahren publiziert und sind damit Stand der Technik, so dass kein Schutzrecht diesem Projekt entgegenstand.

Hinsichtlich der **Werkstoffentwicklung** wurde erstmals Posidonia-Seegras zur Herstellung technischer Dammprodukte (zur Wärme- und Schalldämmung) genutzt. Diese Fasern wurden bisher nicht systematisch auf ihre Anwendbarkeit im technischen Bereich untersucht und weisen aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften (v. a. der biogen schlechten Entflammbarkeit) ein hervorragendes, bisher technisch nicht erschlossenes Potential auf. Als besondere Innovation ist die Nutzung dieser Pflanzenfaser anzusehen, die nicht aus Kulturpflanzen gewonnen wird, sondern als Produkt von Wildpflanzen natürlich bereitgestellt wird und damit in keinerlei Nutzungskonkurrenz zu Agrarprodukten tritt. Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass auch aus vollständig nachwachsenden Rohstoffen (Hanf, Flachs) hergestellte Dämmstoffe gegenüber konventionellen Dämmstoffen aus ökologischer Sicht nicht deutlich vorteilhaft sind. Der Hauptgrund hierfür liegt in den Umweltbelastungen durch die landwirtschaftlichen Prozesse (Düngung, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, gasförmige Emissionen), die das ökologische Profil der „okodammstoffe“ nachhaltig verschlechtern. Beim Einsatz von Posidonia-Fasern als biogenem, jedoch nicht durch Agrarprozesse gewonnenem Rohstoff fallen diese nachteiligen Umweltwirkungen weg, und es konnte – trotz etwas weiterer Transportwege als im Falle von z. B. Hanf - ein klarer umweltlicher Vorteil gegenüber Flachs- oder Hanfdammstoffen erwartet werden.

Im Rahmen eines LIFE-Projekts „Nachhaltige Entwicklung von Küstenregionen Europas und Schaffung eines regionalen Kreislaufes unter Einbeziehung des integrierten Umweltschutzes“ wurde zur Lösung der Frage der Entsorgung von Treibgut (Strandreinigung) eine Demonstrations-Aufbereitungsanlage für Seegras der Art Zostera entwickelt und betrieben. Darüber hinaus wurden verschiedene potentielle Absteuerwege für deren Produkte erprobt. Nach Vorhabensabschluss wurden diese Aktivitäten jedoch aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt. Im Gegensatz dazu wurde in diesem Projekt ausgehend von den hervorragenden technischen Eigenschaften der Posidonia-Faser eine Verfahrens- und Werkstoffentwicklung durchgeführt. Entsorgungsaspekte sind in diesem Zusammenhang nicht von Belang.

Hinsichtlich der Schutzrechte zur Anwendung von Seegras wurden durch den Projektpartner NeptuTherm e. K. / Neptu GmbH & Co KG umfangreiche Recherchen durchgeführt. Er bringt darüber hinaus u. a. folgende Schutzrechte in das Vorhaben ein:

1. Deutsches Patent AZ 102007001740 vom 10.07.2008 für „Dämmstoffmaterial auf der Basis nachwachsender Rohstoffe“
2. Europäische Patentanmeldung AZ 08000198.5 vom 08.01.2008 für „Naturfaserdämmung“
3. Europäische Marke „NeptuTherm“ Nr. 005656491 vom 27.11.2007

2 Darstellung der Ergebnisse

2.1 AP1 Faseraufbereitung (ICT, NeptuTherm, X-Floc)

2.1.1 Faservereinzelung und Sandabscheidung

Ziel von AP 1 war die Gewinnung von möglichst langen Einzelfasern aus den Posidonia-Faseragglomeraten. Gleichzeitig sollte erreicht werden, dass in den Einzelfaserschüttungen möglichst wenig Restsand enthalten ist. Die ausführliche Beschreibung der durchgeführten Versuche sowie der zugehörigen Ergebnisse enthält die Bachelorthesis von Christian Stier³.

Zunächst wurde das Ausgangsmaterial aus Tunesien mittels Siebanalyse nach DIN 66165 klassiert. Hierfür wurden Siebe der Maschenweiten 63, 45, 32 und 22 mm angefertigt, eine weitere Klassierungsgröße von 10 mm ergab sich aus der Verwendung eines Siebtisches mit 10 mm Lochung (Abbildung 3).



Abbildung 3: gefertigtes Sieb der Maschenweite 63 mm

Der größte Teil der Agglomerate, etwa 70 Volumen% der Ballschüttung, hatte einen Durchmesser zwischen 32 und 63 mm (Abbildung 4). Zusammen mit der Siebung wurde ein Sandanteil von rund 21 Masse% abgetrennt. Dadurch wird deutlich, dass es bei der Wahl der Aufbereitungsschritte sinnvoll ist, eine Sandabscheidung bereits vor dem Schneiden der Agglomerate durchzuführen. Es wurde deshalb ein Versuch durchgeführt, bei dem die zeitliche Masseabnahme von Agglomeraten unterschiedlicher Ausgangsmasse in einer Analysensiebmaschine bestimmt wurde. Der Siebturm wird dabei durch eine Dreh-Wurfbewegung mit einer einstellbaren Amplitude angeregt, wodurch der Sand aus den Bällen gerüttelt wird. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 aufgetragen. Nach 10 Minuten war unter den gewählten Bedingungen der größte Teil des Sandes entfernt. Allerdings war auch nach 30 Minuten Rütteldauer noch keine Masse-

³ Christian Stier (2010): Aufbereitung und Charakterisierung von Seegrasagglomeraten. Bachelorthesis, Pfinztal 2010.

konstanz der Bälle erreicht, d.h. es fiel immer noch Sand aus den Agglomeraten. Für die technische Anwendung sollte die Verweilzeit im entsprechenden Rüttler sorgfältig unter den Gesichtspunkten maximale Sandentfernung und Wirtschaftlichkeit eingestellt werden.

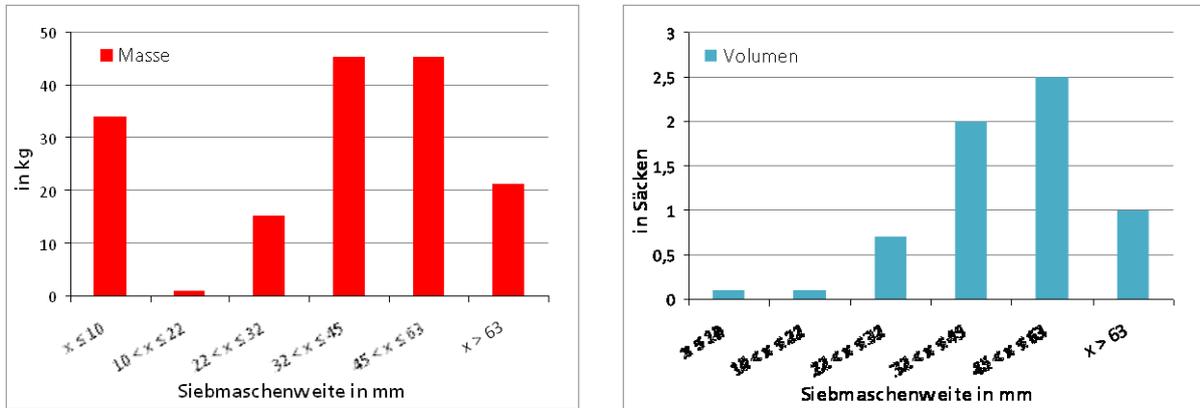


Abbildung 4: Massen- und Volumenverteilung der Bälle nach Siebung

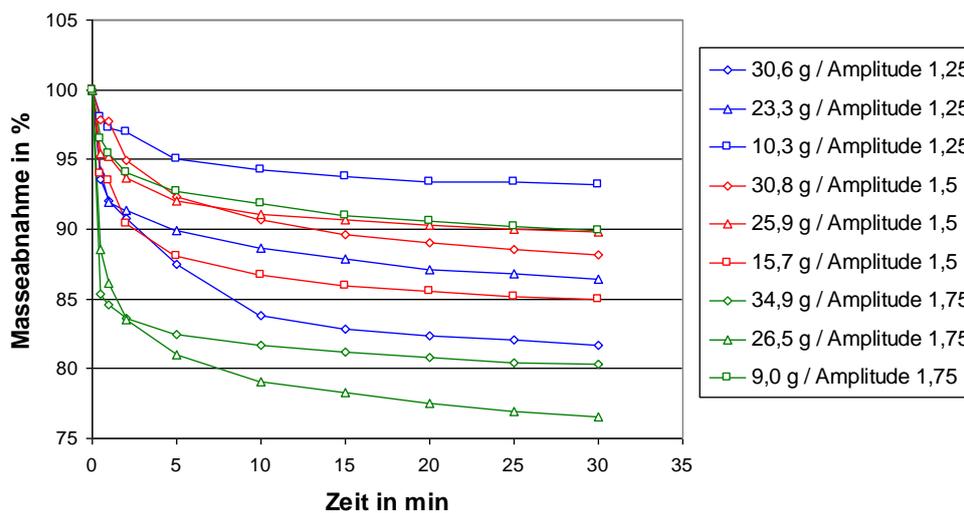


Abbildung 5: Masseabnahme der Posidonia-Agglomerate durch Rütteln

Zur Abtrennung des restlichen in den Agglomeraten enthaltenen Sandes wurden weitere Versuche durchgeführt. Der Sand sollte während oder nach dem Schneiden entfernt werden. Es gelang nicht, den Sand zusammen mit dem Feinanteil direkt während des Schneidens durch die Staubabscheidung in der Schneidmühle zu entfernen. Zur Sandentfernung aus den geschnittenen Fasern wurden Versuche mit Siebmaschinen und mit einem Sichter durchgeführt. Es zeigte sich, dass eine scharfe Trennung von Fasern und Sand durch Siebverfahren schwierig ist. Eine Trennung von Fasern und Sand mit Hilfe eines Zick-Zack-Sichters war zwar möglich, ein kontinuierlicher Betrieb wäre allerdings nicht ohne Weiteres möglich. Durch die Geometrie des Rohrsystems blieb viel Material hängen. Mit einer einfachen Gegenstromsichtung könnte dieses Problem evtl. gelöst werden.

Der massenbezogene Feuchtegehalt der Posidoniafasern wurde gemäß DIN EN ISO 12570 bestimmt. Hiernach wird dieser aus der Masse des Probekörpers vor und nach dem Trocknen bei 105°C berechnet. Nach dieser Berechnung lag der Feuchtegehalt nach Trocknung von Fasern bei knapp 10 % und somit bei ähnlichen Werten wie sie andere Naturfasern wie Baumwolle oder Hanf aufweisen.

Die bei Umgebungsluft, d. h. Raumfeuchte gelagerten Posidonia-Agglomerate haben eine Faserfeuchte von etwa 10 %. Dies wurde mit Hilfe von Trocknung verschiedener Proben bei 100°C und Mittelwertbildung ermittelt. Um die hygroskopischen Sorptionseigenschaften der Fasern zu bestimmen wurden die Adsorptions- / Desorptionshysterese von geschnittenen Fasern sowie eine Kurve zur Absorptionskinetik der Agglomerate aufgenommen. Dazu lagen zwei Verfahren zu Grunde. Mit Hilfe des Klimakammerversfahrens wurden die Fasern bei steigender und danach sinkender Umgebungfeuchte gelagert bis sich bei den eingestellten relativen Feuchten ein Massengleichgewicht eingestellt hatte. Nach dem Ende des Versuches konnte anhand der aufgenommenen Kurven eine Ähnlichkeit der hygroskopischen Eigenschaften zu denen von Viskose ausgemacht werden. Die Ergebnisse der Sorptionsuntersuchungen sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Verläufe der beiden Kurven verlaufen ähneln sich stark. Demzufolge macht es keinen Unterschied, ob die Fasern vor der Aufnahme der Sorptionsisothermen getrocknet werden oder nicht. Bei den getrockneten Fasern (rechts) endet die Desorptionskurve nicht wie erwartet am Ausgangspunkt der Messung bei „0“, sondern im Negativen. Offensichtlich waren die Fasern vor dem Versuchsstart nicht ganz trocken.

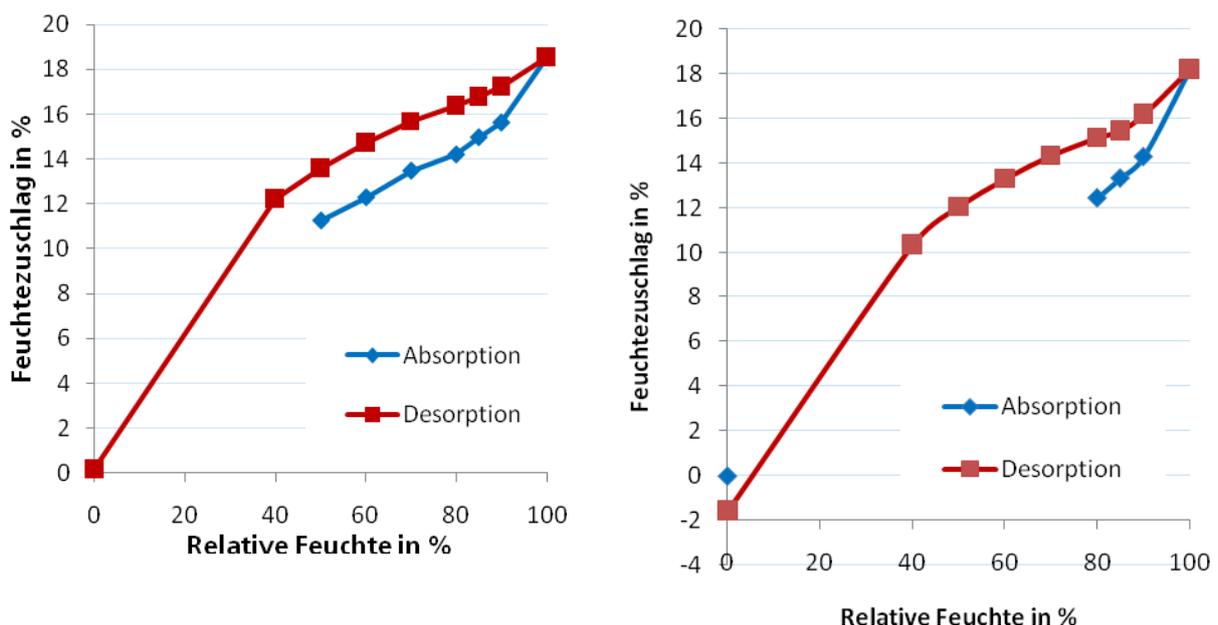


Abbildung 6: Sorptionsisothermen von Posidonia-Fasern. Beginn der Adsorptionsuntersuchungen mit naturfeuchten Fasern (links) sowie mit getrockneten Fasern (rechts).

Mit dem Exsikkatorverfahren wurden Bälle über Wasser gelagert bis sich eine Massenkonstanz eingestellt hatte. Anhand dieser Dauer konnte die Absorptionskinetik bestimmt werden. Durch eine Verfälschung, welche durch einen Wassertropfen verursacht wurde, konnten keine reproduzierbaren Werte aufgenommen werden. Bei dem Versuchsaufbau dauerte es rund 30 Tage bis die Bälle über dem Wasser eine annähernde Massenkonstanz erreicht hatten.

Die Fasern wurden auf ihre Festigkeit in Abhängigkeit ihrer Feuchte untersucht. Dazu wurden Fasern einerseits unbehandelt gemessen und andererseits nach Einlagerung in Wasser und nach Lagerung bei 20 %, 50 % und 80 % relativer Luftfeuchte. Problem war, dass sämtliche Fasern beim Zugversuch an der Einspannung gerissen sind. Somit können die Messergebnisse lediglich als Tendenz bewertet werden. Mit steigender Faserfeuchtigkeit nahm tendenziell die Längendehnung zum Zeitpunkt des Reißens zu und die benötigte Kraft ab. Das bedeutet, dass die Fasern bei erhöhter Feuchtigkeit dehnbarer und flexibler sind und durch Krafteinwirkung beispielsweise beim Schneiden nicht so schnell reißen.

Für die Gewinnung von Einzelfasern aus den Agglomeraten wurden Schneidmühlen verwendet. Die Messungen der Faserlängenverteilungen an den nach dem Schneiden erhaltenen Faserschüttungen wurden mit einem Haver CPA 2 Conveyor der Firma Haver & Boecker durchgeführt. Um bei den Schneidversuchen einen möglichst geringen Fehler durch die inhomogene Ausgangs-

matrix (Naturprodukt) zu generieren, wurden für die Versuche nur Agglomerate der Größenklasse $45 < d_p < 63$ mm verwendet. Exemplarisch wurde dieselbe Schnittprobe fünffach gemessen. Die erhaltenen Faserlängenverteilungen waren fast deckungsgleich, so dass bei den Versuchen auf eine Mehrfachmessung identischer Proben verzichtet wurde. Auch der Vergleich von 5 Schnittproben, die unter denselben Geräteeinstellungen geschnitten wurden, lieferte eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse. Auch das mehrfache Schneiden von Agglomeraten war daher nicht notwendig.

Um zu ermitteln, unter welchen Bedingungen die längsten Einzelfasern und die geringste Staubmenge gewonnen werden können, wurden Versuche mit verschiedenen Schneidmühlen durchgeführt. Parameter für die Schneidversuche waren Siebeinsätze mit unterschiedlichen Lochgrößen zwischen 10 mm und 50 mm sowie die Konditionierung der Agglomerate bei verschiedenen relativen Luftfeuchten (getrocknet, Raumfeuchte, 40 %, 70 %, 100 % relative Feuchte). Als Referenz wurden Bälle von Hand vereinzelt.

Generell führten sowohl größere Sieblochweiten als auch höhere Feuchten zu längeren Einzelfasern und zu einem geringeren Staubanteil. In keinem Fall wurde die Referenz der von Hand aufgeschlossenen Bälle erreicht.

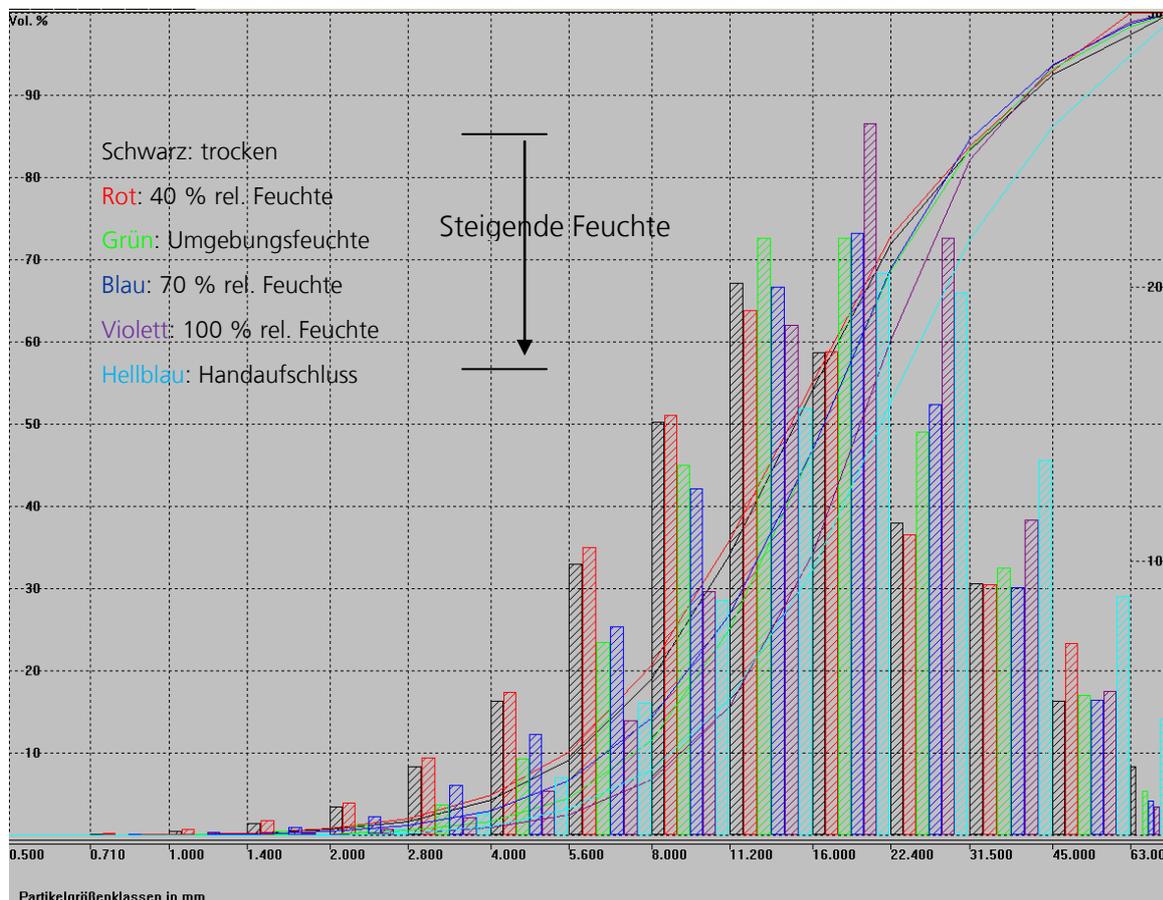


Abbildung 7: Faserlängenverteilungen von geschnittenen Agglomeraten in Abhängigkeit von der Faserfeuchte (Schneidmaschine: Alpine SM 20/12, Rundsieb 20 mm)

Als Beispiel sind in Abbildung 7 die Faserlängenverteilungen (Verteilungssummen und Verteilungsdichten) in Abhängigkeit von der Faserfeuchte für die Sieblochgröße 20 mm der Schneidmühle SM 20/12 (Fa. Alpine) abgebildet. Anhand der Verteilungsdichte (Balken) ist deutlich zu erkennen, dass für die trockenen und die bei 40 % gelagerten Agglomerate der höchste Anteil kleiner Fasern (schwarze und rote Balken), für die von Hand aufgeschlossenen Agglomerate der

höchste Anteil an langen Fasern (hellblaue Balken) enthalten ist. Mit steigender Feuchte werden die Verteilungssummenkurven insgesamt nach rechts in Richtung längerer Fasern verschoben. Die 100 % -Kurve ist im Bereich kleiner Faserlängen (Staubanteil) mit der Kurve für den Handaufschluss fast deckungsgleich, im Bereich großer Faserlängen führt der Handaufschluss allerdings zu besseren Ergebnissen. Insgesamt ist die Befeuchtung des Materials damit jedoch eine gute Möglichkeit, den Staubanteil zu reduzieren. Für die technische Anwendung muss hierbei aber beachtet werden, dass die feuchten Fasern schwerer zu transportieren sind, da sie stärker zum Agglomerieren neigen, als die trockeneren. Für die Anwendung als Einblasdämmstoff hat sich herausgestellt, dass es in erster Linie wichtig ist, den Feinstaubanteil sowie den Sandanteil so gering wie möglich zu halten, da diese die setzungssichere Dichte stark erhöhen. Unter diesem Aspekt ist eine Zerkleinerung der bei Raumfeuchte gelagerten Agglomerate akzeptabel. Eine weitere Befeuchtung bringt für allem einen Vorteil für längere Fasern, reduziert den Feinstaubanteil aber nicht mehr in großem Maße.

Um der Besonderheit der Ballbildung nachzugehen wurde versucht die Agglomeration in einer Kugelmühle künstlich nachzustellen. Die Kugelmühle wurde für diesen Versuch ohne Mahlkörper betrieben, da es nur um die Bewegung der Trommel ging. Es wurden 5 Bälle mit mittlerer Größe $45 \text{ mm} < x \leq 63 \text{ mm}$ ausgewählt und mit einer Schneidmühle geschnitten. Von dem geschnittenen Material mit einer Masse von ca. 75 Gramm wurde knapp die Hälfte (ca. 35 g) in die Kugelmühle gegeben und diese dann bei 56 Umdrehungen pro Minute in einer Richtung bewegt. Nach 60 Minuten hatten sich Faseragglomerate gebildet, welche eine recht luftige Charakteristik aufwiesen und sich bereits durch geringen Fingerdruck deutlich komprimieren ließen. Nach 120 Minuten konnten 23 Bälle gezählt werden. Die Anzahl war nach 19 Stunden auf 18 Bälle reduziert, allerdings war die Faserdichte der Bälle erhöht. Der Versuch zeigte, dass eine Agglomeration nicht nur im Meer funktioniert, sondern auch experimentell und unter trockenen Bedingungen möglich ist. Diese starke Agglomerationsneigung ist die Ursache für Probleme im technischen Umgang (Brückebildung, Verstopfung). Weiterführende Untersuchungen unter Berücksichtigung möglicher biologischen Ursachen für dieses Agglomerationsverhalten können möglicherweise Erkenntnisse für einen Einsatz verschiedener Faserlängen in der Praxis bringen. Würde sich zum Beispiel bestätigen, dass kürzere Fasern weniger zur Agglomeration neigen, als lange wäre es evtl. denkbar, das bislang schlechte Fließverhalten z.B. beim Einsatz als Einblasdämmstoff zu verbessern.

2.1.2 AP 1.3 Verfahrensoptimierung (X-Floc)

Dieses Arbeitspaket hatte die Bereitstellung ausreichend großer Fasermengen zu Versuchs- und Produktionszwecken durch die Neptu-GmbH zum Ziel, wobei die Fa. X-Floc gem. AP 1.3 (Verfahrensoptimierung) beteiligt war. Die eigentliche Verfahrensoptimierung erfolgte im AP2 (Einblasttechnologie). Bei ersten Versuchen wurde die hohe Staubbelastung festgestellt, so dass zunächst Staubbmessungen während des Einblasprozesses durchgeführt wurden.

2.1.2.1 Staubbmessung

Bei der Verarbeitung des Posidoniadämmstoffs während der Maschinenbefüllung sowie während des Einblasprozess kann eine relativ starke Staubbentwicklung festgestellt werden. ().



Abbildung 8: Staubentwicklung beim Einblasen

Der Posidonia-Dämmstoff ist offensichtlich mit einem erheblichen, wie Untersuchungen des ICT ergaben, silikatischen Staubanteil versehen. Dieser Staubgehalt sollte im Aufschlussverfahren der Neptunbälle beseitigt werden. Zur Analyse der Herkunft und Zusammensetzung des Staubes wurden Staubmessungen mit einem Gravicon Staubsammelgerät durchgeführt. Mit diesem Gerät können ortsfeste Probenahmen der alveolengängigen (Feinstaub) und einatembaren (Gesamtstaub) Staubfraktion genommen werden. Das Gravicon findet Anwendung im Rahmen der Arbeitsplatzüberwachung. Es besteht aus dem Basisgerät und dem Kopf des Gerätes. Ein Glasfaserfilter wird mit der Filterkassette, die einen gelochten Boden hat, von oben in das Gerät gelegt. Im Kopf ist die Filterkassette fest eingespannt. Somit entsteht eine dichte Verbindung zwischen Messkopf, Filter, Filterkassette und Basisgerät. Das Gerät arbeitet im Netzbetrieb und besitzt unabhängig von der Temperatur und dem Strömungswiderstand (Staubbelegung) einen konstant geregelten Luftdurchsatz von 22,5 m³/h.



Abbildung 9: Staubmessung mit Staubsammelgerät vom Typ Gravicon

Die Probenahme erfolgte während des Einblasvorganges in der Nähe der Maschine und in der Nähe der Einblasstelle. Beide Proben wurden dann an das ICT zur weiteren Analyse übergeben. Die Analyse ergaben einen Siliziumanteil in den zwei Staubproben von 6,4 % und 9,1 % Si. Zusätzlich wurden bei der Firma Neptutherm in der Faserproduktion der auf den Maschinen abgelagerte Staub untersucht. Die hier gefundenen Si-Anteile lagen zwischen 8,6 und 10,4%.

Grundsätzlich sollten bei der Verarbeitung von Posidonia aktive und passive Staubschutzmaßnahmen getroffen werden. Der Einbläser kann beispielsweise eine aktiv belüftete Staubmaske tragen. Die Maschinenbefüllung kann mit einem Aufsatz mit Staubschutzvorhang und aktiver Absaugung staubreduziert ausgeführt werden.

2.1.2.2 Bau eines Setzungsprüfstand

Zur Erfüllung der im Arbeitspaket 2 beschriebenen Aufgaben ist es erforderlich, die Ergebnisse der Einblasversuche mit Posidonia-Dämmstoff zu bewerten. Dazu gehören die in Abhängigkeit von den Verfahrensparametern erreichbare Einbaudichte und die setzungssichere Dichte. Die hohen Kosten der externen Prüfung des Setzungsverhaltens und der erforderliche Prüfaufwand bei der Entwicklung des Posidonia-Dämmstoffs erfordert die Setzungsprüfung in eigener Regie zu realisieren. Daraus ergab sich die nicht im Arbeitsprogramm vorgesehene Aufgabe, einen eigenen Prüfstand zum Setzungsverhalten zu realisieren.

Da im ICT ebenfalls ein solcher Setzungsprüfstand zur Beurteilung der Ergebnisse des Aufschlussverfahrens benötigt wird, wurde dieser zu Beginn des Projektes gemeinsam realisiert. Die Fa. X-Floc erarbeitete die Konstruktionsunterlagen, montierte die Vorrichtung und realisierte die Elektroarbeiten sowie die Erprobung der Prüfvorrichtung. Das ICT übernahm die Fertigung der mechanischen Komponenten. Die Konstruktion des Prüfstandes (Abbildung 10) erfolgte in Anlehnung an den Normentwurf, ISO/TC 163/SC 1 N 354 E (Reference Number of Document: ISO/CD 18393-1) [21]. Dieser Normentwurf behandelt die Volumenveränderung durch Setzung von Wärmedämmstoffen im Verfahren des offenen Aufblasens.



Abbildung 10: Setzungsprüfstand in Anlehnung an ISO/TC 163/SC 1 N 354 E

Auf der Oberen Plattform der Prüfeinrichtung befindet sich ein Behältnis (Lochblechkorb), in das der zu untersuchende Dämmstoff eingebracht wird. Das Behältnis wird mit Spannbändern auf der oberen Plattform befestigt. Über eine motorisch angetriebene Kurvenscheibe und einer Stütze, deren Länge variabel ist, wird die obere Plattform mit dem Behältnis angehoben. Nach Durchlaufen der Leerstelle der Kurvenscheibe fällt die obere Plattform mit dem Behältnis um eine definiert einstellbare Höhendifferenz auf das Gestell. Zur Veränderung der Prüflast kann diese Fallhöhe im Bereich zwischen 10 mm und 110 mm variiert werden (Abbildung 11).



Abbildung 11: Änderung der Prüflast durch Variation der Fallhöhe

Die Einstellung der Fallhöhe geschieht durch Verstellen der Teleskopstütze. Bei einem geringeren Hub ist diese Stütze kürzer und kommt erst später in Kontakt mit der Kurvenscheibe. Dadurch wird der Hubtisch weniger hoch angehoben. Der Vorteil dieser Ausführung ist, dass die Lage der vier Aufschlagflächen gleich bleibt und so eine Verstellung sehr schnell möglich ist. Zudem kann die Geschwindigkeit der Kurvenscheibe stufenlos verstellt werden. Dadurch lassen sich Schlagfrequenzen von ca. 6-60 Schlägen pro Minute realisieren. Ein Vorwahlzähler ermöglicht die Eingabe der gewünschten Anzahl an Schlägen. Ein berührungsloser Sensor zählt die ausgeführten Schläge und beendet die Prüfung nach Erreichen der vorgewählten Anzahl an Schlägen.

2.1.3 Faseraufbereitung bei Neptutherm

In den ersten Monaten nach Projektbeginn wurde angestrebt, eine ausreichend große Fasermenge zu Versuchszwecken bereitzustellen. Dabei war besonders auf den faserschonenden Aufschluss der Ballstrukturen zu Einzelfasern zu achten.

Entsprechend dem damaligen und heutigen Kenntnisstand ist die einzige vernünftige Möglichkeit, die Posidonia-Bälle zu öffnen, sie mit einer Schneidmühle zu schneiden. Orientierende Versuche mit anderen Geräten wie Kardierern, Faseröffnern, Hammermühlen etc. zeigten keine befriedigenden Ergebnisse. Die Auflösung der Bälle im Wasser ist zwar sehr gut möglich, die Trocknung aber schwierig und sehr energieaufwendig und wurde deshalb nicht weiter verfolgt.

Beim Einsatz einer Schneidmühle spielte die Maschenweite des Siebes in der Schneidtrommel eine wichtige Rolle. Dies wurde durch die beim ICT durchgeführten Versuche bestätigt. Bereits vor Beginn der Forschung war von NeptuTherm e.K. eine kleine Schneidmühle Fa. Dreher 20/25 beschafft worden. Damit wurde anfangs ein Teil der Proben hergestellt. Dabei wurde offensichtlich, dass die Kapazität dieser Maschine nicht ausreichte, um die benötigten Mengen an Fasermaterial für die eigenen Versuche und die Versuche der Partner zu produzieren. Außerdem war es mit diesem Equipment nicht möglich, Fasern in einer auch nur annähernd akzeptablen Konditionierung zu liefern. Die maximale Kapazität lag bei ca. 0,15 m³/Stunde Maschineneinsatz. Außerdem produzierte die Anlage eine Unmenge Feinstaub (insbesondere kurz nach dem Einschalten) und deutlich zu kurze Fasern.



Abbildung 12: Kleine Schneidmühle



Abbildung 13: Große Schneidmühle

Nach Rücksprache mit dem Projektträger wurde die Miete einer größeren Anlage genehmigt. Diese hatte eine Kapazität von ungefähr 1 m³/Stunde. Um die Leistung weiter zu steigern wurde ein lastabhängig gesteuertes Förderband vorgeschaltet.

Vor dem Förderband wurde zusätzlich ein eigens konstruierter ein Siebtisch installiert, der den an den Bällen anhaftenden Sand abtrennt. Der Siebtisch war eine Eigenkonstruktion, da es et-

was Vergleichbares nicht auf dem Markt gab. Die Umsetzung erfolgte durch den Unterauftragnehmer der Fa. X-Floc, die Fa. Fiber-Engineering.

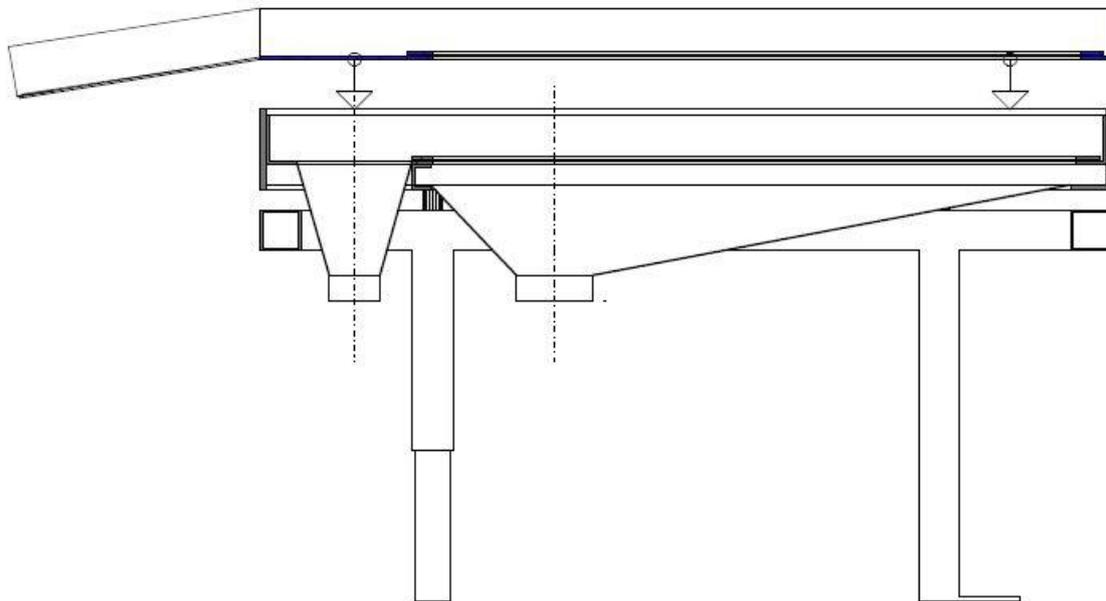


Abbildung 3: Siebtisch Längsschnitt

Die komplette Anlage besteht also am Ende der Projektzeit aus der Schneidmühle, einem Gebläse einem Zyklon und einer Absackstation. Die Schneidmühle hat ein Sieb mit einer Lochgröße von 30 mm. Der Großteil der Fasern bleibt dabei wesentlich länger als bei der alten Maschine. Dies bedeutet eine deutliche Verbesserung gegenüber vorher und dass die Qualität der mechanisch aufgeschlossenen Wolle nun der händisch aufgeschlossenen Wolle wesentlich ähnlicher war.

Mit einem starken Gebläse (Luftgeschwindigkeit 30 m/sec) wurde das Schneidgut aus der Maschine abgesaugt und über ein Rohrsystem in einen Zyklon geführt, in dem sich die Förderluft und das Fasermaterial wieder trennen und schließlich das Material senkrecht nach unten über die Absackstation in Säcke verpackt wurde. Kurz vor Abschluss des Projekts haben wir feststellen müssen, dass das Gebläse mit seinen scharfkantigen Schaufelrädern die bereits geschnittenen Fasern nochmals zerkleinert. Dieser Effekt war allerdings nicht gewollt und verschlechterte das Ergebnis. Das heißt, wenn der Transport innerhalb der Produktion ohne Gebläse hätte geschehen können, wäre das Ergebnis noch besser gewesen.

Die Sandabscheidung war Teil des Arbeitspaketes 1.3 „Verfahrensoptimierung: Berücksichtigung von Nachreinigungstechnik (Bestimmung und Verringerung des Sandgehalts im Produkt z. B. durch Siebung, Zyklon)“. Auf Grund der bisherigen Erfahrung wurde festgestellt, dass ein großer Teil des Sands – besonders der sehr feine tunesische - an den Bällen anhaftet. Wie wir aber in den durchgeführten Versuchen feststellen mussten, sind auch in den Bällen große Mengen an Sand enthalten, dessen Absonderung uns gerade in der Schlussphase des Projekts besonders beschäftigte und bis heute beschäftigt, siehe unten.

Ein weiteres Problem war der starke Anfall von Feinstaub. Einerseits bei der Ballsiebung, andererseits am Zyklon. Für die Arbeiten am Siebtisch wurden deshalb auf Anweisung der zuständigen Berufsgenossenschaft BG RCI für die Mitarbeiter Vollvisiermasken angeschafft.

Die durch das Gebläse für den Materialtransport erzeugte Luft wurde am Zyklon über drei Filtersäcke aus Jutegewebe wieder an die Raumluft abgegeben. Die mitgerissenen Feinteile sollten in den Jutesäcken gefangen werden. Dies gelang nur unzureichend. Der feine Staub verteilte sich in der ganzen Halle. Deshalb wurde beschlossen, die Anlage umzustellen, so dass sie mit dem „Rücken“ zur Hallenwand zu stehen kam und die Filtersäcke des Zyklons mit einer einfachen, hölzernen Staubschutzeinhausung einzufassen.



Abbildung 14: neue Anordnung mit Staubschutz- Einhausung



Abbildung 15: Zusätzliche Abluftöffnung

Dadurch wurde das Staubproblem zwar deutlich geringer, aber es stellte sich ein anderer Effekt ein: Die Staubeinhausung baute einen großen Gegendruck auf das Gebläse auf, so dass plötzlich die Materialqualität wesentlich schlechter wurde, das heißt, die Fasern wurden immer kürzer geschnitten und die Dichte immer höher, da das Material viel zu lange in der Schneidmühle verblieb. Eine zusätzlich in der Staubschutz- Einhausung angebrachte Abluftöffnung 60x60 cm schuf Abhilfe.

So kommen wir wieder zurück zur Sandabscheidung: Zum Ende des Forschungszeitraums wurde uns klar, dass es notwendig ist, den Sand auch nach dem Schneidprozess abzuscheiden. m

Die Setzungsversuche bei der Materialprüfungsanstalt des Landes Nordrheinwestfalen in Dortmund, die im Rahmen der Erweiterung der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durchgeführt wurden, zeigten deutlich, dass das in der neuen Anlage hergestellte Material mit der geprüften Dichte von 130 kg/m³ nicht zum Einblasen geeignet war. Die Verteilung in den Prüfwänden war extrem inhomogen, wodurch es zu unzulässigen Setzungen kam.

Es war ziemlich offensichtlich, dass hierfür der noch in der Wolle enthaltene Sand verantwortlich war. Wir hatten deshalb die Idee, die Wolle ein zweites Mal durchzusieben und mit diesem „modifizierten“ Material nach mehreren Tests mit extra angeschafften, mit den offiziellen baugleichen Probewänden, erneut in die Zulassungsprüfung zu gehen. Erfreulicherweise waren diese Versuche mit einer durchschnittlichen Dichte von 70 kg/m³ erfolgreich. Auch eine Wiederholungsprüfung mit der Stopftechnik erbrachte dieselbe setzungssichere Dichte.



Abbildung 16: Einblasversuche an Probewänden



Abbildung 17: Sehr gutes Ergebnis mit modifiziertem (gesiebttem) Material

Die nun notwendige Umsetzung einer zweiten Sandabscheidung im Produktionsprozess konnte innerhalb der Forschung nicht mehr untergebracht werden.

Es wurde aber deutlich, dass es kaum möglich ist, eine Siebung unter dem anstehenden Luftdruck des Fasertransports durchzuführen. Kurzfristig wurde zwar mit Anlagenbauern ein Vibrationsrundsieb entwickelt, jedoch war man sich des erfolgreichen Einsatzes keineswegs sicher.

Wenn man jetzt die Tatsachen zusammenfasst, dass

- a. das Gebläse an sich für die Faserqualität schädlich ist und
 - b. eine Siebung unter dem hohen Druck nicht möglich erscheint,
- bleibt nur die Variante, eine drucklose Lösung ohne Gebläse zu finden.

Daran arbeiten wir im Augenblick und hoffen, schnell eine geeignete Lösung zu finden.

2.2 AP2 Einblastechnologie (X-Floc)

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen werden häufig als lose Schüttung durch verdichtetes Einblasen verbaut. Das in der Regel in Ballen verpresste Material wird in den Trichteraufsatz der Maschine gegeben. Durch den rotierenden Zerkleinerungsarm wird der Ballen in kleinere Stücke zerteilt.

Das Material fällt auf Grund der Schwerkraft durch die Schleusenöffnung in die Zellradschleuse. Mit dem Schleusenschieber kann der Füllgrad der einzelnen Kammern reduziert werden, und so der Materialdurchsatz reguliert werden. Der Schleusenrotor dreht sich und befördert so die gefüllten Schleusenammern in die untere Position. Aus der untersten Kammer wird das Material durch einen quer zur Schleuse verlaufenden Luftstrom ausgeblasen und durch den Ausblasstutzen aus der Schleuse hinaus befördert. Der Dämmstoff wird dann typischerweise in einem Schlauch über mehrere Stockwerke in das zu Dämmende Bauteil gefördert. Über das Verhältnis zwischen Luft und Material kann je nach Beschaffenheit des Bauteils und Dämmstoffs die Dichte eingestellt werden.

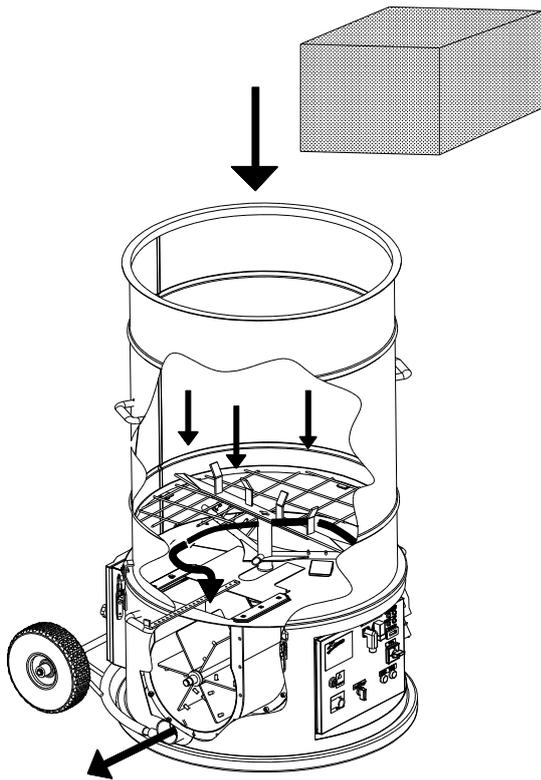


Abbildung 18: Darstellung der Arbeitsweise einer Einblasmachine

Die Einblasteknik wird nach folgenden Anwendungen unterschieden:

- Verdichtet Einblasen, in ein geschlossenes Bauteil
- Offen aufblasen, z.B. oberste Geschosdecke
- Kerndämmung, zweischaliges Mauerwerk
- Feuchtsprühen, Beimischung von Wasser und Binder

Die Einblasdämmung weist viele Vorteile gegenüber der konventionellen Dämmung mit Matenware auf. Neben dem reduzierten Arbeitsaufwand, der sich deutlich in den Kosten niederschlägt, besteht eine ausgezeichnete Erreichbarkeit schwer zugänglicher Hohlräume. Hinzu kommen die Fugenlosigkeit sowie die weitaus bessere Wärmespeicherkapazität von eingeblasenen Dämmstoffen. Dabei besteht die Möglichkeit, Dämmstärken von beinahe beliebiger Stärke zu erreichen, um so die künftigen Energiewerte optimal skalieren zu können. Gerade im Passivhausbereich mit Dämmstärken über 300mm machen sich diese Vorteile bemerkbar.

Folgende Probleme müssen bei der Einblasteknik bewältigt werden:

- Erreichen der Einbaudichte, zu niedrige Verdichtung -> keine Setzungssicherheit
 - Ergebnis abhängig von mehreren Parametern wie z.B. Maschineneinstellungen, Bauteilbeschaffenheit, Dämmstoffbeschaffenheit
 - Material fließt nicht bzw. stoppt an Störkanten (z.B. Installationskabel) ->, Fehlstellen in der Dämmung (Kältebrücken)
- Einblasergebnis nicht sichtbar -> Qualitätssicherung nur durch Stichproben
 - Staubbelastung, gesundheitsgefährdend besonders durch Zusätze wie z.B. Borsalz -> aktiver und passiver Atemschutz

Die bauaufsichtliche Zulassung erfordert bei einem maschinellen Einbau der Dämmstoffe die Verarbeitung durch vom Hersteller geschulte Fachbetriebe. Diese sind an die Verarbeitungsrichtlinien des Herstellers gebunden. Das Einblasen fällt damit nicht in den Bereich des DIY (engl.: Do

it yourself; dt.: Heimwerken). Arbeitswillige Bauherren können sich bei der Befüllung der Maschinen nützlich machen.

2.2.1 AP2.1 Massenstrommessung

Bislang kann die im Einblasverfahren verarbeitete Dämmstoffmenge bzw.-masse zur Qualitätskontrolle nur durch Stichproben, d.h. im eingebauten Zustand kontrolliert oder mittels aufwändigen Verwägungen, bei der der eingeblasene Dämmstoff wieder entnommen und gewogen wird, bestimmt werden.

Eine Recherche nach geeigneten und bestehenden Messverfahren zur Bestimmung des Massenstroms eines Faserdämmstoffes in der Förderleitung zur einfachen Bestimmung der Einbaudichte, Auswahl, Modifikation und Optimierung des Verfahrens ergab folgende Verfahren:

- Dens Flow nach SWR
- Radionuklidverfahren zur Massenstrommessung instationärer Mehrphasenströmungen

Mit dem Ultraschall Messsystem DensFlow der Fa. SWR wurden Voruntersuchungen durchgeführt, welche gute Ergebnisse lieferten.

Feststoff- Durchflussmessverfahren zur Dichtestrommessung (DensFlow nach SWR)

Mit einem Durchflussmengenmessgerät kann eine online Massenstrommessung durchgeführt werden. Das DensFlow Messgerät der SWR ist speziell entwickelt für die Mengenummessung von im Dichtstrom geförderter Feststoffe. Wie orientierende Voruntersuchungen bei SWR ergaben, hat der Posidonia-Faserstoff eine hinreiche Dielektrizitätskonstante, die für den Einsatz dieser Messtechnik erforderlich ist.

Das DensFlow System arbeitet mit neuester Mikroprozessor-Technologie. Durch die spezielle kapazitive Einkopplung einer elektromagnetischen Welle wird in der Rohrleitung ein homogenes Messfeld erzeugt. Die in die Rohrleitung eingebrachte elektromagnetische Welle tritt in Wechselwirkung mit den Feststoffteilchen. Die empfangenen Signale werden hinsichtlich ihrer Amplitude und ihres zeitlichen Verhaltens ausgewertet. Die Messung der Feststoffgeschwindigkeit erfolgt mittels Korrelation. Zur Erzeugung der Korrelationssignale werden zwei kapazitive Sensoren verwendet. Eine komplette Messstelle besteht aus dem Sensor (Messrohr) und der Auswerteelektronik.

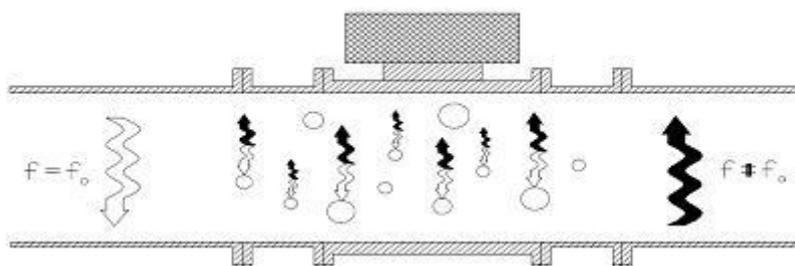


Abbildung 19: Entkopplern des Messfeldes

Erste Voruntersuchungen zur prinzipiellen Funktion des Messverfahrens waren positiv, so dass mit der Herstellerfirma SWR eine Kooperationsvereinbarung getroffen werden konnte. Danach erfolgten der Aufbau einer Messstrecke sowie Kalibriermessungen in systematischen Versuchsreihen.

Die Messungen erfolgten zunächst mit der Posidonia Faser. Dabei wurde der gemessene Massenstrom des DensFlow System mit dem über Zeit und Masse errechneten Wert verglichen. Es musste festgestellt werden, dass das System aufgrund der extremen instationären Strömung ungenaue Ergebnisse liefert (>30% Abweichung). Die anschließende Messung mit Holzfaser lieferte keine besseren Ergebnisse. Da in der Praxis noch extremere instationäre Strömungen stattfinden, kann das DensFlow Messsystem nicht zur Massenstrommessung eingesetzt werden.



Abbildung 20: Messaufbau DensFlow

2.2.2 AP2.2 Konzeption und Konstruktion einer auf die Faser abgestimmten Maschinenteknik

Im Rahmen des AP1 erfolgten erste Untersuchungen zum Einblasverhalten der Posidonia-Fasern mit verschiedenen von der Fa. X-Floc hergestellten Einblasmaschinen. Die Abbildung 21 zeigt eine Übersicht der getesteten Maschinen und der sich dabei gezeigten Probleme.

				
	EM 100	Minifant M99	Zellofant M95 6,7 kW	EM 400
Maschinenleistung:				
	gering			hoch
Merkmale				
max. Ausblasdruck	240 mbar	280 mbar	390 mbar	450 mbar
Maschinenform	rechteckig	achteckig	rund	rechteckig
Auflockerungswerk	horizontale Aulockerungswellen	rotierender Rechen	rotierender Rechen	horizontale Auflockerungswellen
Häckselwerk	-	-	-	ja
Ergebnisse Einblasversuche mit Posidonia				
	Maschine blockiert sofort bei zu hoher Materialzuführung	Maschine blockiert bei zu hoher Materialzuführung	Maschine blockiert bei zu hoher Materialzuführung	Bei längerem Betrieb und zu hohem Materialdurchsatz blockiert Maschine.
	Abstand Auflockerungswelle zu Maschinenwand zu gering (Agglomerationen)	Material sammelt sich an Rechenenden und führt zu Blockade	Material sammelt sich an Rechenenden und führt zu Blockade	Blockade zwischen Häcksler und Schleuse
	Schleuse blockiert/ Agglomeration an Dichtlappen	Schleuse blockiert/ Agglomeration an Dichtlappen	Schleuse blockiert/ Agglomeration an Dichtlappen	Schleuse blockiert/ Agglomeration an Dichtlappen
Störquellen	→zu geringe Maschinenleistung	→zu geringe Maschinenleistung/ Rechen blockiert	→ Maschinenleistung grenzwertig, Rechen blockiert	Schleuse blockiert (Agglomeration Dichtlappen)

Abbildung 21: Übersicht Verarbeitung Posidonia mit verschiedenen Einblasmaschinen

Mit den derzeit vorhandenen Maschinentypen von X-Floc ist das Einblasen von Posidonia-Dämmstoff prinzipiell möglich. Jedoch entstehen infolge von Agglomerationen, zu der Posidonia-Fasern neigen, erhebliche Schwierigkeiten, die bis zum Stillstand bzw. Blockaden der Maschine, insbesondere des Rührwerks und der Zellradschleuse, führen (Abbildung 22).



Abbildung 22: M99: Agglomeration zwischen Gehäusewand und Rührwerk führen zum Blockieren des Rührwerks

Neben der Entwicklung einer auf die Posidonia abgestimmten Maschine ist die Kenntnis der Verarbeitung mit bestehenden Maschinen z.B. durch Modifikationen sehr wichtig, da Fachbetriebe die bereits vorhandene Maschinenteknik besitzen und auch benutzen. Bei der Entwicklung zukünftiger Maschinen soll die Eignung für Posidonia berücksichtigt werden.

Mit den Maschinentypen Zellofant M95 6,7 kW und EM400 ist das Einblasen von Posidonia-Dämmstoff mit geringfügigen Modifikationen der Maschine eingeschränkt möglich.

2.2.2.1 Verhalten im Gefach

Zur Beurteilung des Einblasverhaltens und zur Definition einer geeigneten Verarbeitungsvorschrift ist die Kenntnis des Verhaltens des Dämmstoffes im Gefach erforderlich. Für die Posidonia wurden folgende Eigenschaften festgestellt:

- Keine Fließeigenschaft vorhanden, welche ein Nachschieben und Verdichten des Dämmstoffes (z.B. in die Ecken) gewährleistet. Folglich kann die Verdichtung in den Gefach-Ecken nur schwer erreicht werden, bzw. muss händisch erfolgen.
- Störkanten im Gefach stauen Posidonia (z.B. an Installationsrohren/ Kabel). Gefahr von Fehlstellen (Kältebrücken), Setzung
- Drehdüsen fördern den Dämmstoff direkt in die Ecken. Diese basieren jedoch auf dem Prinzip umliegendes Material in die Ecken zu drücken. Bei Posidonia können diese Düsen nicht verwendet werden, da die Fasern beim Aufbringen von Druck bzw. Kraft agglomerieren.
- Die Verarbeitung muss mit einem geringen Materialstrom erfolgen, da ein größerer Materialstrom zu sog. Stopfern (Blockaden) führt.
- Schmale Ritzen, Löcher und Übergänge werden nicht durch das Material zu Beginn des Einblasens von selbst abgedichtet, da dort die Luft austritt und somit der Dämmstoff mit transportiert wird. Überströmen von z.T. großen Mengen an Material in benachbarte Gefache mit sehr schlechter Verdichtung führt zum Problem, da dieses im Nachhinein nicht mehr ausreichend verdichtete werden kann. Auch kann das Einführen des Einblasschlauches in das benachbarte Gefach dadurch verhindert werden.
- Hohe Staubbelastung macht Staubschutz notwendig
- Luftleistung reicht nicht aus um nach einer Agglomeration eine weitere Verdichtung zu erreichen, die maximale Luftmenge und der maximale Luftdruck sind meist durch das Bauteil beschränkt

Der Posidoniadämmstoff weist im Vergleich zu anderen Einblasdämmstoffen ungünstigere Einblaseigenschaften auf. Während Zellulose beispielsweise ein hervorragendes Fließverhalten aufweist, ist diese Eigenschaft bei der Posidonia kaum zu sehen. Die guten Fließigenschaften der Zellulose sorgen dafür, dass sich über den Luftdruck die Dichte variieren lässt, dass genügend Material in die Ecken und unzugänglichen Bereiche nachfließen kann und so alle Hohlräume vollständig ausgefüllt werden. Probleme entstehen deshalb in den oberen Ecken eines Gefaches. Es ist nicht möglich eine ausreichende Verdichtung in diesen Ecken zu erreichen. In den Setzungsversuchen entsteht deshalb sofort ein Abriss an diesen Stellen. Die Ecken müssen vor vollständiger Befüllung des Gefaches händisch befüllt und nachverdichtet werden.



Abbildung 23: Problemstelle Ecke

2.2.2.2 Verarbeitung mit bestehender Maschinenteknik

Zur besseren Kenntnis der Eigenschaften der Posidonia Fasern im Einblasverfahren wurde zunächst das Verhalten bei der Verarbeitung mit bestehenden Maschinen sowie Equipment und den verschiedenen Anwendungen untersucht. Folgende Eigenschaften konnten festgestellt werden:

- Posidoniafasern sind sehr „störrisch“ und bilden sehr schnell Stopfer im Schlauch.
- Grund: Posidonia neigt sehr schnell zur Agglomeration – Probleme bilden Störkanten wie Übergänge, Reduktionen etc.
- Kein Unterschied zwischen mehrmals verwendeter bzw. verarbeiteter Posidonia
- Hohe Staubbelastung

Im Hinblick auf die Verarbeitung ergeben sich an den verschiedenen Maschinenkomponenten folgende Probleme:

Auflockerungswerk:

- Scherfestigkeit der Posidonia sehr hoch -> Probleme an Engstellen kleiner 4-5cm .Diese sind jedoch typische Mechanismen um gängige Dämmstoffe aufzufasern. Blockaden entstehen durch sehr feste Posidonia- Zusammenballungen
- Feine Auflockerung generell nicht nötig, da der Faserzusammenhalt wenig ausgeprägt ist
- aufgelockertes Material agglomert sofort wieder

Schleuse:

- Übergang zur Schleuse bzw. Schleusenrotor stellt eine notwendige Scherstelle dar

- Material fällt von oben in die Schleuse und fällt dabei zwangsläufig auch auf die Schleusendichtungen. Beim Weiterdrehen der Schleuse klemmt sich das Material zwischen Dichtlappen/Kammerblech und Mantelblech. Abhilfe schafft eine Abstreifkante.
- Gefüllte Schleusenkammer wird mit Prozessluft durchströmt – beschleunigt Material in Schleusenkammer von hinten. Es baut sich ein größerer Klumpen auf. Dieser kann den Schleusenausgang verstopfen und so wird die Schleusenkammer nicht oder nur teilweise entleert. – Schleusenkammer wird sich von alleine nicht mehr entleeren. Wenn mehrere Kammern verstopft sind, blockiert die Maschine.

Transport im Schlauch:

- Übergänge wie Schlauchverbinder stellen Störquellen dar
- Transport im glatten Transportschlauch besser – weniger Reibungsverlust. (gewellter Einblasschlauch soll Dämmstoff weiter auffasern/auflockern. Bei Posidonia nicht notwendig)
- Schlauchreduzierungen sind ein Problem (Stopfer durch Agglomeration). Reduzierungen vermeiden oder direkt nach der Schleuse reduzieren.

2.2.2.3 Konzeption und Entwicklung einer auf die Faser abgestimmten Zellradschleuse

Aus den Untersuchungen zur Verarbeitung der Posidonia Fasern zeigte sich, dass die bisherige Fördertechnik insbesondere die Zellradschleuse ungeeignet ist. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein neuer Typ Zellradschleuse entwickelt, der sich schon in ersten Versuchen als tauglich erwiesen hat. Die Serienerprobung musste allerdings noch erfolgen.

In ersten Vorversuchen wurde die Zellradschleuse der 1. Generation entwickelt. Diese zeigte jedoch Mängel bei der Verarbeitung des Posidonia Fasern, die noch sehr viel Sand enthalten. Der enge Spalt zwischen Rotor und Stator war nicht dauerhaft für sandhaltiges Fasermaterial geeignet.

Aus den Erkenntnissen der Versuche mit der Zellradschleuse der 1. Generation entstand die 2. Generation mit verbesserten Dichtlippen an den Rotorblättern. Dadurch wird das System unempfindlicher gegen Sand.

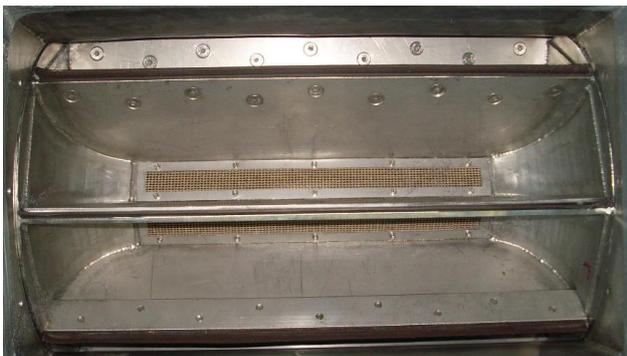


Abbildung 24: Verbesserte Zellradschleuse

Diese Schleuse wird erfolgreich von Fiber Engineering in deren Anlage eingesetzt. Allerdings ist diese Bauform um ein vielfaches aufwändiger als die typischerweise eingesetzten Zellradschleusen und daher für eine Verwendung in einer mobilen Einblasmaschine zu teuer.

2.2.2.4 Entwicklung einer speziellen Posidonia Einblasmaschine

Ganz im Unterschied zu den marktgängigen Einblasdämmstoffen ist bei dem Posidonia Dämmstoff die Auflockerung nicht entscheidend, da der Faserstoff ohnehin sofort wieder agglomeriert und sich verfestigt. Zudem führen die Agglomerationen der Auflockerungsmechanismen zu Blockaden. Wichtig ist, die entstehenden Blockaden zu bewältigen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Entwicklung einer speziellen Einblasmaschine für den Posidonia-Dämmstoff. Kern-

punkt ist der Übergang zur Zellradschleuse. Zunächst wurden die Anforderungen an eine Posidonia Einblasmaschine definiert.

Anforderungen an Posidonia Einblasmaschine

Auflockerung

- Agglomeration, hieraus folgt Auflockerung direkt vor Schleuse
- Häckselwerk direkt vor Schleuse
- Vermeidung von Brückenbildung mit flexiblen Störelementen
- Aufbrechen größerer Brocken

Schleuse

- Materialzuführung zu Schleuse – hohe Leistung und Kraft um Blockaden zu überwinden
- Schleusenausgang direkt NW 63 (Schlauchanschluss Ø 63mm)
- Kammergröße relativ klein -> geringer Füllungsgrad
- Zunächst geringe Materialdurchsätze – kleine Schleuse
- Blockaden können durch sofortige kurzzeitige Umkehr der Schleusenrichtung überwunden werden

Befüllung

- Staubabsaugung
- Vorratsvolumen für 1-2 Säcke Material
- Befüll Tisch, zum Ablegen der Posidonia-Säcke

Konzept Posidonia Einblasmaschine

Mit den Anforderungen an eine Posidonia Einblasmaschine wurde ein Maschinenkonzept, die „EMX 250“ erstellt. Dabei steht der Name für EM = Einblasmaschine, das X für die spezielle Anwendung und die Zahl für die Leistungsklasse der Maschine.

Im Folgenden wird das Konzept der Maschine näher erläutert.

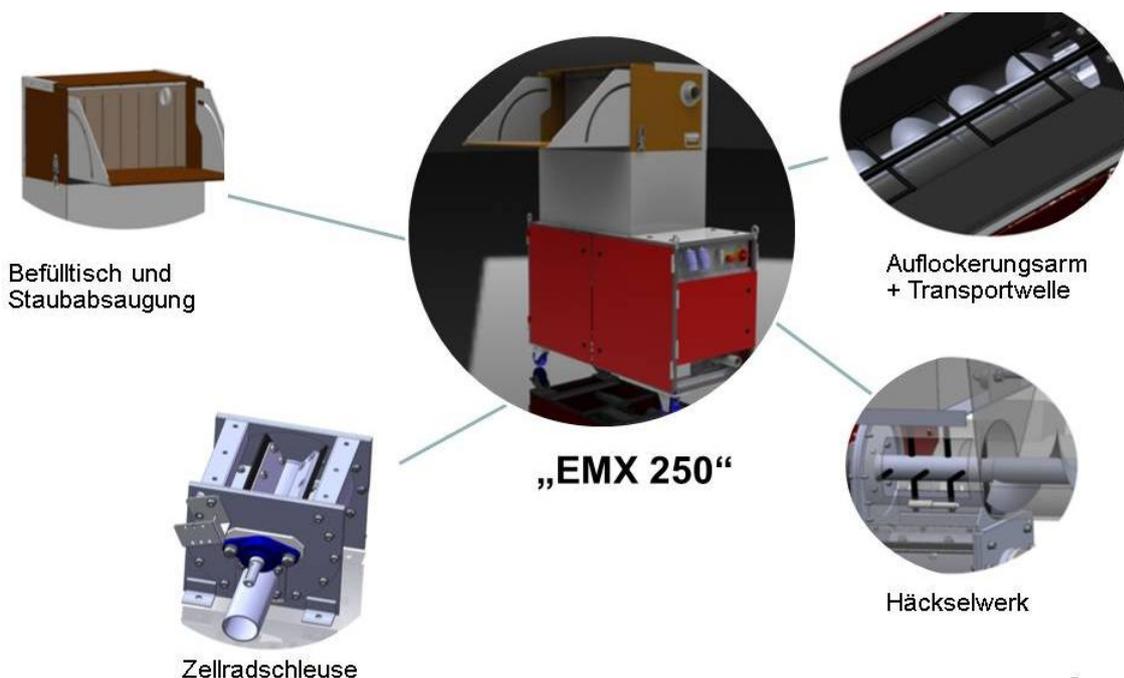


Abbildung 25: EMX250 Konzeptdarstellung

Wesentliches Merkmal ist eine Transportschnecke, die das vom Auflockerungsarm grob aufgelockerte Material zur Schleuse befördert. Die Schnecke eignet sich zum Fördern von Posidonia besonders gut, da keine Querschnittsverengungen stattfinden, die Blockaden forcieren.

Am Ausgang der Schnecke befindet sich der schnelldrehende Häcksler. Das fein gehäckselte Material fällt in die direkt darunter liegende Zellradschleuse. Diese wurde kompakt aufgebaut. Vor allem die Schleusenammern sind klein gehalten. Damit sollen Blockaden vermieden bzw. überwunden werden.

Die Maschinenbefüllung wird durch einen Kistenumsatz mit Staubabsaugung komfortabel für die Maschinenbedienung ausgeführt.

Prototyp Posidonia Einblasmachine

Nach dem vorliegenden Konzept erfolgten die Konstruktion und die Fertigung eines Prototyps der Einblasmachine. Nach Fertigstellung dieses Prototyps wurden erste Versuche im Labor mit der Posidonia Faser durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Maschine zuverlässig das Material verarbeiten kann.

Der Härtetest erfolgte dann auf einer Baustelle in Karlsruhe-Stutensee, wobei eine Fassade von außen gedämmt wurde. Dabei zeigte sich, dass die Maschine sehr gut zur Verarbeitung der Posidonia geeignet ist. Jedoch ist der Materialdurchsatz mit ca. 100 kg/h sehr gering war, was nicht zufriedenstellend ist. Bei Versuchen den Materialdurchsatz durch eine schnellere Förderschneckendrehzahl zu erhöhen, gab es Blockaden in der Schleuse. Dennoch konnte die Baustelle zufriedenstellend fertiggestellt werden.



Abbildung 26: EMX250 Baustelle KA-Stutensee

2.2.2.5 Alternative zu Zellradschleuse

Da die Eignung der Zellradschleusentechnik in Verbindung mit der Verarbeitung von Posidonia generell angezweifelt werden muss, wurde ein Konzept ohne Zellradschleuse ausgearbeitet. Dieses wird im Folgenden vorgestellt.

Das Konzept basiert darauf, das Material von Umgebungsdruck p_0 mittels einer Schnecke in den Druckbereich p_1 zu transportieren. Die Abdichtung soll im Bereich der Schnecke durch das Material selbst erfolgen. Die Förderschnecke drückt das Material in den Luftstrom im Ausblastschacht.

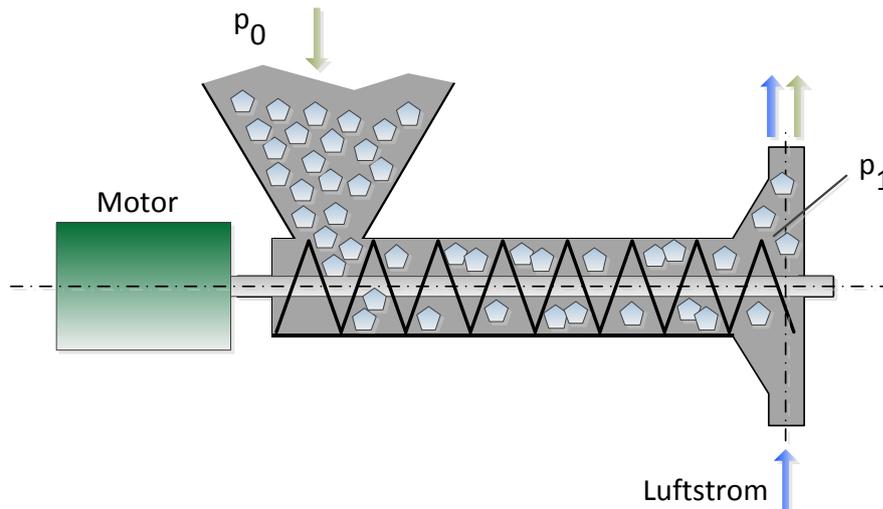


Abbildung 27: Funktionsprinzip Schneckenschleuse

Um die Schleusenfunktion einer Schnecke zu gewährleisten, müssen einige Änderungen gegenüber einer reinen Transportschnecke getroffen werden. Zum Beispiel muss die Schnecke komplett gefüllt sein um die Abdichtung gegenüber dem Atmosphärendruck zu ermöglichen. Allerdings ist das Prinzip der Schneckenschleuse nicht für jede Art von Fördergut geeignet.

Zur Realisierung der Aufgabe müssen große konstruktive Anpassungen gemacht werden, da beispielsweise das Spiel der Schnecke im Rohr möglichst gering gehalten werden muss. Der Häcksler muss hinter die Schneckenschleuse, in dem Druckbereich platziert werden, um die in der Schleuse entstandene Verdichtung wieder zu beseitigen. Das bedeutet, dass auch das Gehäuse des Häckslers abgedichtet werden muss. Besonders problematisch ist die Abdichtung der schnell rotierenden Häckslerwelle. Erfahrungen haben gezeigt, dass ein alleinstehender RWDR nach kürzester Zeit versagt. Das Häckslergehäuse wurde als Schweißkonstruktion aus Blech konstruiert. Das Gehäuse hat die Form eines Radialventilators. Der Häcksler ist so angeordnet, dass der Dämmstoff in Richtung des Ausblasstutzens beschleunigt wird, und so ein höherer Wirkungsgrad erzielt werden kann.

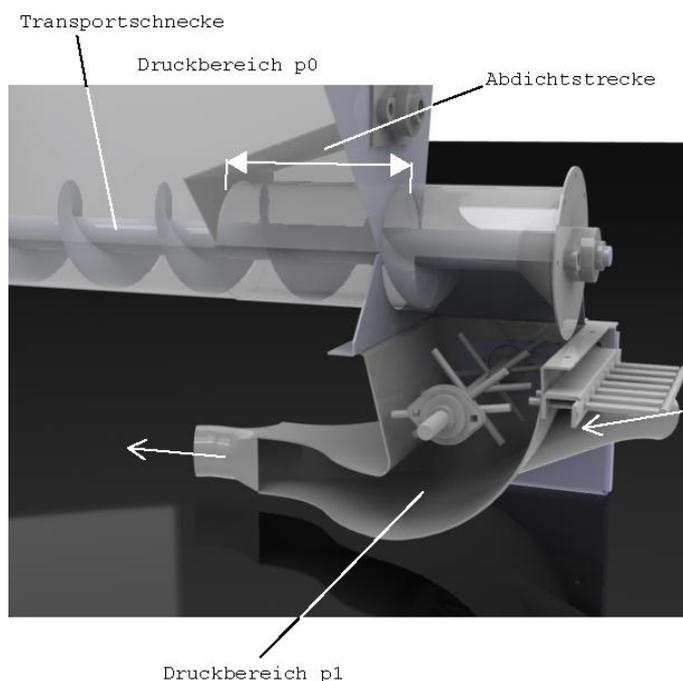


Abbildung 28: Aufbau Prototyp

Eine Rutschkupplung mit Kettenrad am Schneckenantrieb soll vermeiden, dass die Schnecke sich durch blockieren selber zerstört bzw. das Material bei hohem Gegendruck im Schlauch in die Ausblaskammer verpresst. Der Materialdurchsatz lässt sich durch die variable Schneckendrehzahl steuern.

Ob die Entwickelte Lösung funktioniert, kann nur der Bau eines Prototyps zeigen.

2.2.2.6 Fazit Maschinentechnik für Posidonia

Zur Verbreitung von Posidonia als Einblasdämmstoff gehört zwangsläufig die Maschinentechnik. Deshalb ist es hilfreich, wenn die Fachbetriebe das Material mit der vorhandenen Maschinentechnik verarbeiten können, da nicht jeder Einblasbetrieb sich eine spezielle Posidonia-Einblasmaschine anschaffen wird. Durch die im Laufe des Forschungsprojektes gesammelten Erkenntnisse können die Maschinen der Serie Zellofant M95-6,7kW und EM400 sowie EM440 grundsätzlich mit kleineren Modifikationen zur Verarbeitung von Posidonia verwendet werden, jedoch mit Einschränkung des Materialdurchsatzes. Da diese Maschinentypen weitläufig in Europa verbreitet sind, erhöht sich damit die Anzahl potentieller Verarbeiter von Posidonia.

Die entwickelte Maschine EMX250 eignet sich zur Verarbeitung von Posidonia. Der Prototyp muss zur serienreife jedoch weiter optimiert werden. Vor allem muss eine Optimierung des Durchsatzes erfolgen.

Die Marktchancen für eine spezielle Einblasmaschine für einen Nischendämmstoff – was Posidonia bzw. NeptuTherm in der Anfangszeit sein wird – sind nicht besonders hoch.

Deshalb wurde die Eignung zur Verarbeitung anderer Dämmstoffe bzw. Anwendungsgebiete untersucht. Eine Anwendung, bei der geringe Materialdurchsätze erforderlich sind, ist das Feuchtsprühen. Dabei wird dem Dämmmaterial entweder direkt ein Binderzusatz beigemischt, der in der Anwendung mit Wasser aktiviert wird oder es wird Wasser mit Binderzusatz verwendet. Dazu kommen spezielle Sprühwerkzeuge am Ende des Förderschlauches zum Einsatz. Damit wird erreicht, dass der Dämmstoff auf offene und glatte Flächen gesprüht werden kann, beispielsweise auf eine Betonwand oder einen Stahlträger.

Ein besonders schwer zu verarbeitendes Material ist spezielle Stein- oder Glaswolle mit Zusatz aus Zement für das Feuchtsprühen. Die Materialeigenschaften im Hinblick auf die Maschinentechnik ähneln der von Posidonia. In Laborversuchen wurde die EMX250 mit diesem Material erfolgreich getestet. Weitere Baustelleneinsätze erfolgten bei verschiedenen Anwendern, die alle Ihr Interesse an der Maschine bekundeten.

Somit könnte aus der EMX250 eine Maschine mit einem breiteren Anwendungsfeld entstehen.

2.2.3 AP2.3 Aufbereitung verdichteter Dämmstoff und Kompositdämmstoff

Im Laufe des Forschungsvorhabens wurde festgestellt, dass das Posidonia Material um unbehandelten Zustand nach der Auffaserung bereits eine relativ hohe Dichte besitzt und nur noch bei der Befüllung händisch verpresst wird. Das Material erfährt durch die Pressung im Sack keine Veränderung, bzw. es stellt keinen Unterschied zur Verarbeitung von nicht verpresstem Material dar.

Somit ist keine spezielle Auflockerung von zuvor gepresstem Material nötig.

Anstatt dessen wurde in diesem Arbeitspaket versucht die Einbaudichte der schweren Posidoniafaser zu reduzieren. Dazu wurde einen Komposit aus Posidonia und Federelastischen Spänen untersucht.

2.2.3.1 Kompositdämmstoff

Im Vorfeld wurden mit aufgeschlossenem Posidonia-Dämmstoff in der MPA Dortmund erste Setzungsuntersuchungen hinsichtlich der Zulassung des Dämmstoffs gem. den Prüfbedingungen der MPA Dortmund durchgeführt. Dabei ergab sich eine setzungssichere Dichte von 135 kg/m^3 . Bei einem geschätzten Preis von $0,8 \text{ €/kg}$ Posidonia würden die Materialkosten für einen Kubikmeter Dämmung etwa $135 \text{ kg/m}^3 \times 0,8 \text{ €/kg} = 108 \text{ €/m}^3$ betragen. Damit hätte der Dämmstoff kaum Chancen auf dem Markt. Aus diesem Grund muss nach Lösungsansätzen gesucht werden die setzungssichere Dichte des Dämmstoffs deutlich zu vermindern. Ein Weg hierzu ist die Bildung von Kompositdämmstoffen.

Grundlagen Komposit mit federelastischen Hobelspänen

Kompositbildung zur Verringerung der setzungssicheren Dichte schüttbarer Dämmstoffe mittels spezieller federelastischer Späne und herkömmlicher Hobelspäne

Die Idee der Bildung von Kompositdämmstoffen basiert darauf, dass besonders federelastische Holzspäne eine Matrix geringer Dichte bilden, in deren Hohlräume ein herkömmlicher, feiner Schüttdämmstoff eingelagert wird (Abb. 1/10).

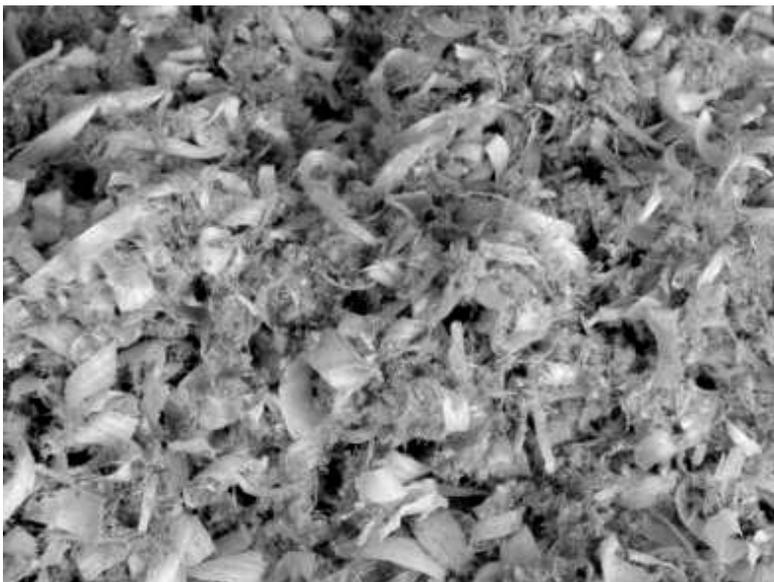
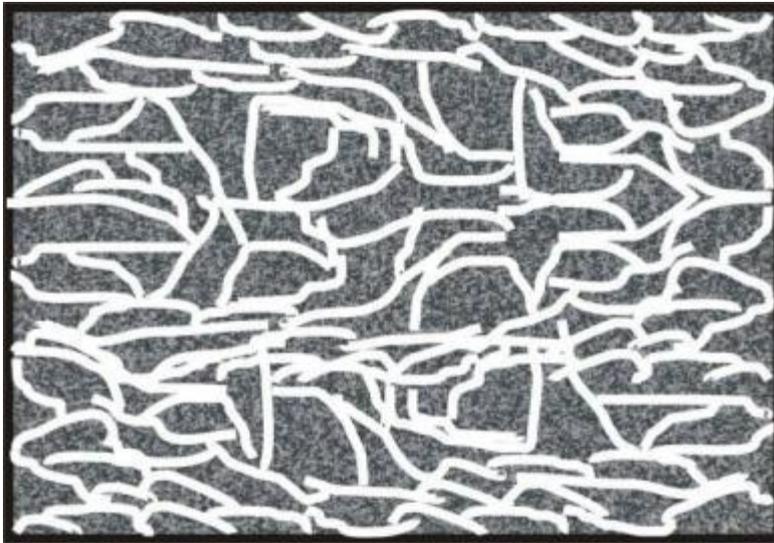


Abbildung 29: Kompositdämmstoff (Prinzip und Mischungsbeispiel)

Das so gebildete Dämmstoffgemisch zeigt eine deutlich geringere setzungssichere Dichte als der Kompositpartner. Aus Gründen der Setzungssicherheit erfordern alle Schüttdämmstoffe eine

materialabhängige Einbaudichte. In der Regel ist die Wärmeleitfähigkeit schüttbarer Dämmstoffe ebenfalls dichteabhängig. Oft kann die hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit optimale Dichte nicht eingebaut werden, weil die Setzungssicherheit eine höhere Dichte erfordert. Die Idee der Kompositdämmstoffe erwies sich prinzipiell als tragfähig. Mögliche wirtschaftliche Effekte ergeben sich aus der Einsparung an Dämmstoff infolge der geringeren Dichte und der Substitution durch die deutlich preiswerteren Frässpäne aus Holz im Vergleich zu herkömmlichen Schüttdämmstoffen. Die Bildung von Kompositdämmstoffen beinhaltet folgende wissenschaftliche Problemstellung:

- das Spangut für Wärmedämmstoffe wird nicht mehr aus anfallenden Spänen, sondern in einem gesonderten Zerspanungsprozess gewonnen,
- ein speziell hergestelltes Spangut kann den Erfordernissen optimal angepasst werden, eine geringe Wärmeleitung und eine hohe Setzungssicherheit erfordern völlig unterschiedliche Partikel,
- der Zusammenhang von Wärmeleitung und Setzungssicherheit in Abhängigkeit von der Spanmorphologie und den Herstellungsbedingungen ist zu untersuchen,
- die Bildung einer Matrix aus setzungssicheren federelastischen Spänen, deren Hohlräume muss mit feinen Partikeln zur Verringerung der Luftdurchlässigkeit und damit zur Verringerung der Wärmeübertragung durch Konvektion verfüllt werden.

2.2.3.2 Erste Untersuchungen zur Bildung eines Kompositdämmstoffs aus Posidonia und federelastischen Spänen (FES)

Die Abbildung 30 zeigt eine händisch erzeugte Mischung von Posidonia und FES im Mischungsverhältnis 1:1.



Abbildung 30: Mischung 50% FES und 50% Posidonia

Die federelastischen Späne (FES) liegen bereits in einer optimierten Form vor, jedoch noch nicht die Posidonia-Fasern, d.h. die vorgenommenen Mischungsuntersuchungen müssen nach dem Vorliegen des zu entwickelnden Aufschlussverfahrens von Posidonia-Bällen wiederholt werden. Abbildung 31 zeigt die Schütt- und Setzungsdichte in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis von FES und Posidonia.

Schütt- und Setzungsdichte verschiedenerer Mischungen von FES und Posidonia

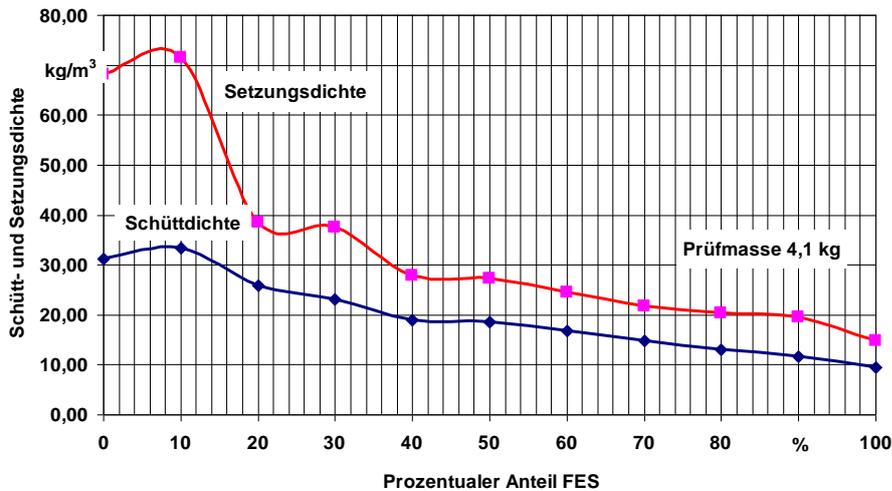


Abbildung 31: Schütt- und Setzungsdichte in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis von FES und Posidonia (Kurzprüfverfahren bei einer Prüfmasse von 4,1 Kg)

Bei einem Mischungsverhältnis von 1:1 kann die setzungssichere Dichte bereits auf ca. 40% verringert werden. Allerdings stimmen hier die Ergebnisse des Kurzprüfverfahrens mit den Untersuchungen der MPA Dortmund nicht überein. Die Prüfmasse ist entsprechend experimentell zu erhöhen, bis eine Setzungsdichte bei 100% Posidonia von 135 kg/m³ erreicht ist. Trotzdem sind die Ergebnisse der unterschiedlichen Mischungsverhältnisse miteinander vergleichbar, d.h. durch Zugabe von FES im Mischungsverhältnis von 1:1 kann die setzungssichere Dichte (Setzungsdichte) auf ca. 40%, d.h. von 135 kg/m³ auf ca. 54 kg/m³ verringert werden. Für einen Kubikmeter Dämmung wären statt 135 kg Posidonia nur noch 27 kg erforderlich (hinzu kommen noch ca. 27 kg FES), dies entspricht der ursprünglich erforderlichen Posidonia-Einsatzmenge von ca. 20%.

Daraus ergeben sich erhebliche wirtschaftliche Effekte. Bei einem geschätzten Preis von 0,8 €/kg Posidonia würden die Materialkosten für einen Kubikmeter Dämmung etwa 135 kg/m³ x 0,8 €/kg = 108 €/m³ betragen. Damit hätte der Dämmstoff kaum Chancen auf dem Markt.

Durch Zugabe von FES, beispielsweise im Verhältnis 1/1, verringert sich der Anteil von Posidonia auf 27 kg/m³ x 0,8 €/kg = 21,6 €/m³. Hinzu kommen noch 27 kg/m³ FES zum geschätzten Preis von 0,3 €/kg in Höhe von 27 kg/m³ x 0,3 €/kg = 8,1 €/m³, d.h. die Materialkosten des Komposits betragen schätzungsweise etwa 21,6 €/m³ + 8,1 €/m³ = 29,7 €/m³ statt 108 €/m³. Durch die Bildung eines Kompositdämmstoffs von Posidonia und FES bestünden reale Marktchancen des Produkts.

2.2.4 AP2.4 Optimierung Betriebsbedingungen

Zur Optimierung der Betriebsbedingungen wurden im Laufe des Forschungsprojektes mehrere Einblasprojekte zusammen mit dem Projektpartner durchgeführt. Diese dienten vor allem zur Untersuchung des Einblasverhaltens in realen Bauteilen, und zum Versuch an diversen Maschinen.

Testbaustelle mit Posidonia

Auf einer Testbaustelle (Karlsruhe-Grätzingen) wurde mittels einer modifizierten Einblasmaschine vom Typ „Zellofant M 95 6,7 kW“ Posidonia-Dämmstoff in ein Dach eingeblasen. Aus den Erkenntnissen der Versuche im Labor und anderen Versuchen wurde ein Maßnahmenkatalog zur Modifizierung des Zellofant M95 erarbeitet.

- Ausbau des Rückhaltegitters und Auflockerungsarmes
- Entfernen aller scharfen Übergänge. (Bolzenleisten anfasen)
- Externe Einkopplung Verstärkerstation 3KW (zusätzliche Prozessluft) mit y-Stück direkt nach der Schleuse
- Reduktion des Schlauchdurchmessers auf NW63
- Kurzer Trichteraufsatz mit Cabrio (Staubabsaugung)



Abbildung 32: Einblasen des Posidonia-Dämmstoffs von außen unter die Dachhaut

Die Verarbeitung der Sackware erfolgte bei langsamer Maschinenbefüllung und relativ geringem Materialdurchsatz bei folgenden Maschineneinstellungen:

- L= 10 ;
- M= 4 ;
- Schieber auf 20%;

Folgende Probleme entstanden bei größeren Materialdurchsätzen und zu hoher Maschinenbefüllung:

- Schleusenammern voll, Blockade der Schleuse
- Stopfer am Schleusenausgang
- hohe Maschinenbefüllung komprimiert durch Eigengewicht unteres Material, so dass Blockaden entstehen.

Bei der gewählten, relativ geringen Fördermenge konnte das Dach ordnungsgemäß maschinell gedämmt werden. Die Erfahrung des praxisnahen Einblasversuches gingen in die Entwicklung einer leistungsfähigen Einblasmaschine ein.

Außerdem konnten bei diesen Versuchen weitere Erfahrungswerte im Hinblick auf die Anwendungsparameter für die Zulassungsprüfung an der MPA NRW erarbeitet werden. Diese sind für die Spätere Verarbeitungsrichtlinie von großer Bedeutung.

2.3 AP3 Werkstoffentwicklung (FE)

2.3.1 AP3.1 Pflichtenheft Bindersystem

Bei der Verwendung der Blastechnologie müssen die verwendeten Binder blasfähig sein, d.h. trocken und nicht klebrig. Durch den Transport über Zellrad schleuse und Schlauchsystem dürfen die Klebesysteme noch nicht reagieren. Erst nach dem Eintrag in das Werkzeug, kann der Binder mittels heißer Luft, Dampf oder Mikrowelle aktiviert werden.

Speziell für die spätere Anwendung im Automotivebereich muss der Binder kostengünstig sein, damit das Produkt wettbewerbsfähig gegenüber den bereits bestehenden Bauteilen ist. Das wichtigste Auswahlkriterium eines OEM's ist der Bauteilpreis. Erst danach kommen weitere Argumente, wie Gewichtsersparnis und Umweltaspekte.

2.3.2 AP3.2 Identifikation Produkte/Binder

Es gibt auf dem Markt bereits verschiedene Bindersysteme für Faserteile. Diese gliedern sich auf in feste Binder in Form von Fasern mit thermoplastischem Aufbau, Binder in Puderform für duroplastische Bauteile und flüssige Binder, ebenfalls für duroplastische Bauteile.

2.3.2.1 Bindefasern

Die Bindefasern werden homogen mit den Posidonia Fasern gemischt. Dies erfolgt bei Fiber Engineering auf der Technikumsanlage durch grobes Vormischen im Kastenspeiser und anschließendem mehrmaligen Durchlauf über den Feinöffner. Das Vermischen erfolgt damit im Luftstrom vom Feinöffner zum Füllschacht des Fiber Injection Moulding (FIM) Systems.

Eine Aktivierung der Klebefasern erfolgt später in den Werkzeugen entweder durch Heißluft oder durch Heißdampf. Bei den Fasern unterscheidet man zwischen Bico und einer reinen Klebefaser. Die Bico faser besteht in der Regel aus einem später schmelzenden Kern und einem eher schmelzenden Mantel. Dieser Mantel ist in Schmelzbereichen von ca. 100°C bis 220°C erhältlich. Der Kern besteht meistens aus Polyester, mit einem Schmelzpunkt von 250°C. Bei der Aktivierung der Bico faser wird der Mantel geschmolzen. Im Fasergemisch legt sich diese Schmelze an die Berührungspunkte mit den Posidonia Fasern. Beim anschließenden Abkühlen bilden die Klebepunkte einen festen Verbund und erzeugen somit ein zusammenhängendes Bauteil. Der Polyester kern dient dabei als verbindendes und gleichzeitig stützendes Element. Die verschiedenen Schmelzbereiche haben den Hintergrund, dass für verschiedene Bauteile im Fahrzeug unterschiedliche Spezifikationen gelten. So werden beispielsweise für Bodenisolierungen ein Schmelzbereich zwischen 100°C-135°C als ausreichend gesehen, wogegen für einen Dachhimmel ein Schmelzbereich oberhalb von 165°C vorgesehen ist.

Bei der Verwendung von reinen Klebefasern wird die komplette Faser aufgeschmolzen und bildet die Klebepunkte mit der Posidonia Faser. Das stützende Element Polyester entfällt. Die Aktivierungszeit beträgt je nach Fasertyp ca. 60-120 sec.

Die Funktionsweise der Bico faser ist dargestellt in Abbildung 33 bis Abbildung 36.

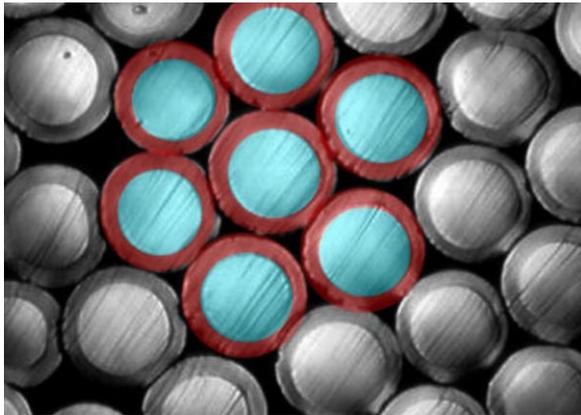


Abbildung 33: Bico vor der Aktivierung

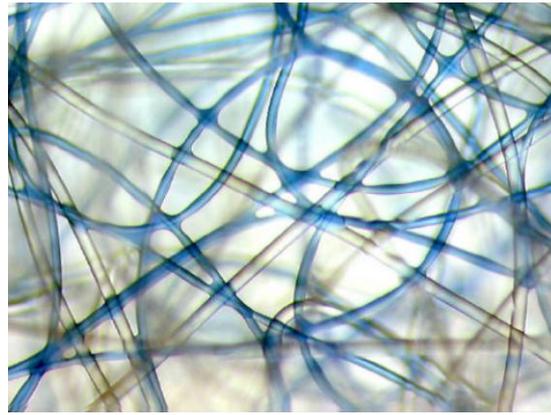


Abbildung 34: Bico nach der Aktivierung

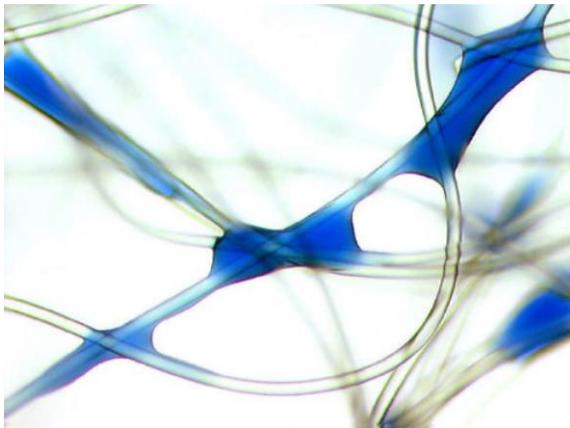


Abbildung 35: Bico nach der Aktivierung

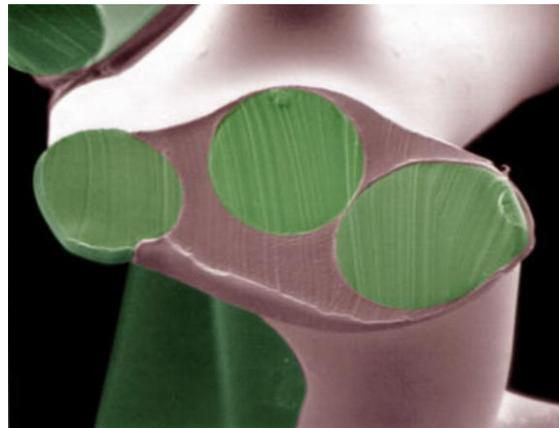


Abbildung 36: Klebepunkte stark vergrößert

2.3.2.2 Feste Binder in Form von Pulver, duroplastischer Aufbau

Die Verwendung von Pulver bei der Blastechnik FIM wird nicht bevorzugt. Bei der Verarbeitung müssen entsprechende Absaugeinrichtungen installiert werden, welche den Prozess aufwändiger gestalten. Außerdem muss danach eine Wiederaufarbeitung und Rückführung des abgesaugten Materials erfolgen, da sonst eine erhebliche Verteuerung des Produktes entsteht.

Bei anderen Faserlegeprozessen, wie zum Beispiel dem Airlaid Prozess, erfolgt die Aktivierung des Pulvers entweder durch Heißluft oder durch Heißdampf. Die Binder in Pulverform bestehen einerseits aus Phenolharzen, Phenol freien Harzen oder andererseits aus Epoxidharzen. Die Pulver werden zusammen mit den zu bindenden Posidonia Fasern homogen gemischt und in das Werkzeug gefüllt. Alle Pulver werden mit Reaktionstemperaturen zwischen 120°C und 180°C angeboten. Die Aktivierungszeit beträgt ca. 30 – 180 sec. Der duroplastische Aufbau ermöglicht den Einsatz von Faserformteilen in Bereichen mit höherer Temperatur. Die Bauteile bleiben bei erneuter Wärmeeinwirkung im Gebrauch dann immer noch formstabil.

2.3.2.3 Flüssige Binder

Diese Binder werden vor Verarbeitung auf die Posidonia Fasern gesprüht. Anschließend müssen die Fasern vollständig getrocknet werden, bevor sie in der Blastechnik weiterverarbeitet werden können. Die in Frage kommenden flüssigen Binder müssen sprühhfähig sein und eine hohe Klebewirkung entfalten. Ein Einsprühen während des Füllvorgangs in die Werkzeugform ist technisch derzeit nicht realisierbar. Die mit dem Binder besprühten Posidonia Fasern werden zunächst mechanisch geöffnet, sofern sich durch den Trockenprozess Verklumpungen gebildet haben, bevor sie über das Blassystem in die Werkzeuge geblasen werden können. Dabei darf der Binder nicht durch die Reibung während des mechanischen Öffnens aktiviert werden, da dies zu Verklebungen im Blassystem führt. Nach dem Füllen der Werkzeugform kann der Binder auf den

Fasern entweder durch Heißluft, oder durch Heißdampf aktiviert werden. Die meisten flüssigen Binder haben einen duroplastischen Aufbau. Somit lassen sich damit entsprechend Bereiche erschließen, die mit thermoplastischen Formteilen nicht möglich sind. (Beispiel ist der Motorraum im Kfz).

2.3.3 AP3.3 Ergebnisbewertung u Auswahl Bindersystem

Zur Ergebnisbewertung wurden in Abstimmung mit den Ergebnissen aus AP4 und 5 verschiedene Bindersysteme mit Posidonia Fasern gemischt bzw. aufgetragen und in ein einfaches, kleines Plattenwerkzeug geblasen.

Bei entsprechend guter Verarbeitung erfolgten anschließend Untersuchungen an den Mustern, durchgeführt unter Berücksichtigung der bekannten Bauteilspezifikationen der Automobilkonzerne, um eine Bewertung auch in Bezug auf die spätere Verwendung abgeben zu können.

Versuchsablauf mit Bindefasern:

Getrennte Öffnung der Bicofasern in einem einmaligen Durchlauf durch die Faseraufbreitungsanlage (Dadurch wird später eine bessere Verteilung der Bindefaser im Fasergemisch erreicht).

Abwiegen der jeweiligen Bicofasern mittels einer Bandwaage in einem festen Mischungsverhältnis zur Posidonia.

Manuelles Vormischen bei einem konstanten Mischungsverhältnis Bico zu Posidonia von 35:65% (entspricht dem gängigen Mischungsverhältnis von Isolierteilen im Kfz-Bereich) und Zuführung des Materials zum Feinöffner. Die Feinöffnung und der anschließende Transport über das Rohrsystem zum Füllschacht lieferte eine ausreichende Vermischung zwischen Bicofaser und Posidonia. Die hohen Anteile an Kurzfasern und Sand sorgten für eine hohe Verschmutzung der Anlage. Die erhöhten Reinigungszeiten/-intervalle müssen bei einem späteren Serienprozess mit kalkuliert werden.

Eine Auswahl der Bicofasern und deren Versuchsergebnisse sind in Tabelle 1 gelistet.

Tabelle 2: Ergebnisse mit den verwendeten BicoFasern (n: nicht, i.O.: in Ordnung)

Faserlänge	3	12	32	52	76	mm
Heiztemp.	175	175	175	175	175	°C
Heizzeit	60	60	60	60	60	sec
Bindung ok	n.i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	
Bauteil ok	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	

Arbeiten mit Schmelzklebefasern

Die Mischung mit Posidonia Fasern erfolgte ähnlich der Mischung mit Bicofasern. Zur besseren Bewertung gegenüber der Bindung mit Bicofasern wurde hier ebenfalls ein Mischungsverhältnis von Bindefaser:Posidonia von 35:65% gewählt.

Eine Auswahl von Schmelzklebefasern sind in Tabelle 3 gelistet.

Tabelle 3: Klebefasern

Type	Titer	Stapel	Polymer	Schmelzpunkt	Verarbeitungstemperatur der Binder	Anwendungsgebiete
EP 1223	11,0	V3	PA 6	ca. 220°C		PA-Faser mit guten Wiederholungswerten als Füllstoff z.B. für Sitze
EP 550	6,7	51	PA 12	ca. 180°C	ca. 200-220°C	Hochwertige PA-Faser mit tiefem Schmelzpunkt zum Verkleben von Composites wie Carbon, Aramid oder Glas aber auch PA-Fasern
KA 140	11,0	80	CoPA	ca. 140°C	ca. 160-180°C	CoPA-Faser mit tiefem Schmelzpunkt zum Verkleben von PA-Fasern, Wolle, Zellulose
KE 150	5,5	60	CoPES	ca. 150°C	ca. 170-190°C	CoPES-Faser mit tiefem Schmelzpunkt zum Verkleben von PES/PET, Wolle, Zellulose aber auch PA-Fasern
KE 170	5,5	60	CoPES	ca. 170°C	ca. 190-210°C	CoPES-Faser mit mittlerem Schmelzpunkt zum Verkleben von PES/PET, Wolle, Zellulose aber auch PA-Fasern

Pulver als Binder

Klebeharze in Form von Lackpulver oder Phenolharzen werden in die geöffneten Posidonia Fasern eingebracht. Dies kann über rütteln, blasen + saugen, oder im Luftstrom erfolgen.

Diese Arten von Pulvereinbringen sind im Technikum in Karlsruhe nicht möglich. Bei Verwendung eines Gemischs mit Pulver und Faser tritt ein Teil des Pulvers während des Fasertransports bereits aus der Anlage aus.

Unsere Technikumsanlage verfügt nicht über entsprechende Absaugvorrichtungen, um einen gesundheitlich unbedenklichen Testbetrieb vorzunehmen.

Deshalb wurde Pulver als Binder nicht getestet.

Eigenschaften von Bindeharzen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Eigenschaften von Bindeharz

Dakotex	2000/00	2000/07	2000/08	2000/09	2000/510	2200	2200/803
Melting peak DSC	67°C+/-7	67°C+/-7	67°C+/-7	67°C+/-7	67°C+/-7	67°C+/-7	67°C+/-7
Farbe	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau
Teilchengröße	0-100u	0-100u	0-100u	0-100u	0-100u	0-100u	0-100u
Gelzeit (@180°C DIN 55990)	>110 sec	60-90 sec	45-80 sec	24-45 sec	45-70 sec	60-90 sec	45-70 sec

Versuche mit Flüssigbinder imprägnierten Posidonia Fasern.

Da mit dem FIM Prozess nur trockenes und nicht klebendes Material verarbeitet werden kann, können feucht besprühte Fasern nicht verblasen werden. Das Gemisch würde in den Rohren oder den Maschinenteilen verkleben und sich ablagern.

Möglich sind allerdings Binder, die aufgetragen, und getrocknet werden und danach eingeblasen werden können. Anschließend wird der Binder im Werkzeug thermisch aktiviert. Getestet wurden Binder von 2 verschiedenen Herstellern.

Binder A

Entsprechend den Angaben des Herstellers können mit den zur Verfügung stehenden flüssigen Bindern dieses Lieferanten nur feste Trägerteile hergestellt werden.

Flüssig aufgetragen und später thermisch aktivierbare Binder für weiche Dämmteile sind derzeit nicht erhältlich.

In den ersten Versuchen kam eine Mischung von Binder A mit Wasser (50:50) zur Anwendung, die Mischung von Posidonia und dem Binder erfolgte in einem Lödige Mischer. Dabei zeigten die Fasern keine Klumpenbildung. Die Fasern waren gut benetzt und bildeten eine geringe frei rieselfähige Fasermenge. Es entstanden einige wenige Faserklümpchen im Gemisch, bedingt durch die ständige Drehung des Trommelmischers. Der Binderanteil lag zwischen 12 und 18 Masse-%. Nach Trocknung der Fasern an der Luft konnte das Gemisch ohne Probleme verblasen werden.

Ergebnis mit Binder A:

Mit Binder A können feste Trägerteile hergestellt werden (siehe Abbildung 37).



Abbildung 37: Hartes Trägerteil Posidonia

In Ausführlichen Tests wurden kleine Platten gegenüber ähnlich festen Materialien geprüft.

Tabelle 5: Detaillierte Versuchsergebnisse

Prüfung	Parameter	Basaltwolle phenolharzgebunden	Baumwolle phenolharzgebundene	Seegras, Binder A
Dicke	[mm]	6,1	3,9	1,8
Flächengewicht	[g/m ²]	1792	1802	1612
Brenntest	[mm/min] DIN 75200	SE vor 1. Messmarke	SE vor 1. Messmarke	SE vor 1. Messmarke
Wärmelagerung	160°C/48h	leichte farbliche Veränderung	farbliche Veränderung	leichte farbliche Veränderung
Maßliche Veränderung nach Wärmelagerung		geringer Schrumpf 20,0/20,0 = 4,9/5,0 = 2%	geringer Schrumpf 20,0/19,9 = -0,5% 4,9/4,9 = 0%	geringer Schrumpf 20,0/19,9 = -0,5% 5,0/4,9 = -2,0%
Gewichtsveränderung nach Wärmelagerung		Gewichtsverlust 15,07/14,96 = 0,7%	Gewichtsverlust 15,99/15,67 = -2%	Gewichtsverlust 17,3/16,6 = -4,2 %
Klimawechseltest	120°C/20 %Feuchte;	farbliche Veränderung	farbliche Veränderung	leichte farbliche Veränderung
Maßliche Veränderung nach Klimatest	10°C/92% Feuchte 48h	Schrumpf 20,0/20,0 = 0% 4,9/4,95 = 1%	Schrumpf 20,0/20,0 = 0% 4,9/4,95 = 1%	geringer Schrumpf 20,0/19,8 = -1,0 % 5,0/4,95 = -1,0%
Gewichtsveränderung nach Klimatest		Gewichtsverlust 15,67/15,60 = 0,5%	Gewichtsverlust 16,61/16,60 = 0,06%	geringer Gewichtsverlust 17,1/16,5 = -3,5 %
	tauchen der Probe 5 min, Trocknen waagrecht bei RT [mm] Ausgangsgewicht nach 5 sec. Nach 5 min Nach 10 min nach 1h nach 2h nach 22h nach 24h	17,73 26,88 (51,6%) 26,20 (47,8%) 25,75 (45,2%) 24,64 (39,0%) 23,75 (34,0%) 17,74 (0,06%) 17,74 (0,06%)	16,62 41,01 (146,8%) 40,03 (140,9%) 39,89 (140,0%) 38,77 (133,3%) 37,40 (125,0%) 18,60 (11,9%) 17,45 (5,0%)	17,17 22,17 (29,1%) 21,47 (25,0%) 21,47 (25,0%) 20,61 (20,0%) 19,61 (14,0%) 17,74 (3,3%) 17,63 (2,7%)
Medienbeständigkeit	Auftropfen von Medien Benzin Diesel Motoröl Hydrauliköl Kühlerschutz	Material ohne Abdeckvlies Zieht ein zieht ein zieht ein zieht ein zieht nicht ein	Material ohne Abdeckvlies Zieht ein zieht ein zieht ein zieht ein zieht nicht ein	Material ohne Abdeckvlies Zieht ein zieht ein zieht ein zieht ein zieht nicht ein

Die Vergleichsmaterialien waren Baumwolle und Basaltwolle, jeweils mit Phenolharz duroplastisch gebunden.

Daneben wurden die mit Posidonia und Binder A hergestellten Musterplatten verschiedenen Flüssigkeiten ausgesetzt, wie sie zum Beispiel im Motorraum eines Kfz vorkommen. Der Vergleich der Medienbeständigkeit erfolgte mit alternativen Materialien.

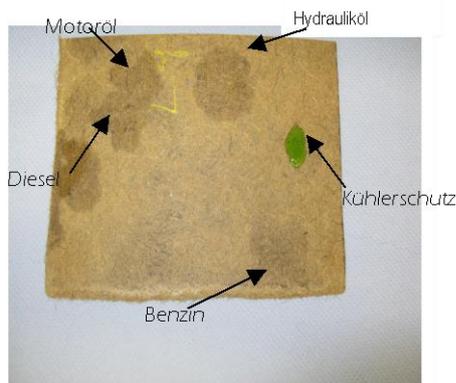


Abbildung 38: Posidonia Platte

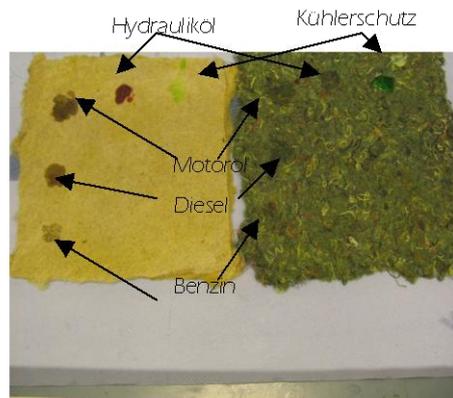


Abbildung 39: Basaltsteinwolle/Baumwolle

Mit Binder A können allerdings keine weichen Teile hergestellt werden. Zur Aktivierung der Klebepunkte ist neben der Temperatur noch ein bestimmter Druck auf die Fasern nötig, was zu einer erhöhten Dichte führt. Muster mit niedrigerem Druck konnten nicht verklebt werden und zerfielen nach der thermischen Aktivierung. Der Binder erzielte keine ausreichende Bindung mit den Fasern untereinander. Einzelne Fasern, sowie Sand rieseln nach dem Verbundprozess aus dem gebundenen Teil heraus.



Abbildung 40: Weiches Verbundteil

Der Binder kann im Fahrzeugbereich somit ausschließlich für hart verpresste Trägerteile, wie z.B. Türinnenverkleidung, Hutablage oder Motorraumabdeckungen außen verwendet werden. Die Platine aus Posidoniafasern ist nach der Ausrüstung und dem Verpressen immer noch schwer entflammbar, eine Eigenschaft, die ein wichtiges Argument für die Automobilindustrie ist.

Binder J

Die Posidonia-Fasern wurden mit dem auf PUR basierenden Binder J besprüht und getrocknet, anschließend mechanisch geöffnet und in einer Heißpresse verpresst. Als Ergebnis entstand eine weiche, feste Platte.



Abbildung 41: Duroplastische weiche Platte

Bei Binder J handelt es sich um einen wässrigen Haftvermittler für Kunststoffe und Metalle. Basis ist Kunstharz. Der Auftrag des Binders kann mit Pinsel, Walze oder Sprühpistole erfolgen. Nach dem Auftragen muss der Binder vollkommen trocken sein, bevor er aktiviert wird. Damit eignet er sich sehr gut zur Anwendung in der FIM Technologie.

Ergebnis von flüssig aufgetragenen Bindern

Zur Verbindung der sehr unterschiedlich langen Posidonia Fasern mit zum Teil sandhaltigen Stäuben ist die Verwendung von Flüssigbindern sinnvoll. Der Einblasprozess erfordert Bindemittel, die trocken verblasen und anschließend thermisch aktiviert werden können.

Für feste Trägerteile eignet sich Binder A sehr gut, für weiche Teile könnte Binder J in Frage kommen. Dies wird in einem weiteren Versuch mit entsprechend besprühten Fasern im speziellen Werkzeug „Stirnwand Passat“ umgesetzt. (s.AP 5.2 Kap. 2.5.3)

2.3.4 Binderauswahl für die Versuche am ICT

Im Rahmen einer Masterarbeit ⁴ wurden Posidonia Matten mit Hilfe der Tauchmethode erstellt. Dabei kamen sieben Binder, verschiedener Hersteller zum Einsatz.

Binder A basiert auf einer wässrigen Lösung von Alkoholen und Carbonsäuren, welche durch Erhitzung verestern.

Binder B besteht aus einer wässrigen Wasserglas-Lösung. Diese wird durch Trocknung aktiviert. Ursprünglich wurden zwei unterschiedliche Binder B (B und B2) verwendet, jedoch hat sich gezeigt, dass deren Eigenschaften sich nicht unterscheiden.

Binder C und Binder D basieren auf Stärke und werden in Pulverform angeliefert.

Die in Pulverform vorliegenden Binder mussten in Wasser gelöst werden. Beide Binder neigten zu Agglomeration. Die Agglomerate wurden durch langes Rühren, sowie Kneten mit den Händen beseitigt. Bei Binder C musste zur Lösung eine Wassertemperatur von mindestens 80 °C erreicht werden. Beim Erhitzen änderten sich die Eigenschaften der Binder-Wasser Mischung sprunghaft, so hat sich deren Viskosität schon bei einer Konzentration von 15 Gew.-% so stark erhöht, dass die Fasern nicht ohne Probleme benetzt werden konnten. Es wurden Zwei Typen

⁴ David Böning (2011): Herstellung von Dämmmatten aus Naturfasern. Masterthesis, Pfinztal 2011.

des Binders C verwendet. Jedoch wurde einer der Beiden (C2) nach orientierenden Versuchen aufgrund fehlender Wasserbeständigkeit aus dem Versuchsprogramm entfernt. Die Versuche mit den Bindern C und D wurden abgebrochen, da die Auflösung der Pulverförmigen Binder aufwändig war und die Viskosität der Lösung zum Teil zu hoch war, um die Posidonia-Fasern zu benetzen

Binder E und Binder J bestehen aus einer wässrigen Polymerlösung. Diese wird durch Trocknung aktiviert. Die durch Binder E erzeugte Bindung ist die einzige, welche elastische Eigenschaften aufweist. Binder J war zum Zeitpunkt des Projektes noch in der Entwicklungsphase, aus diesem Grund wurden Versuche mit Binder J nur eingeschränkt durchgeführt.

2.4 AP4 Dämmmattenherstellung

2.4.1 Arbeiten am Fraunhofer ICT

Am ICT wurden orientierende Versuche zu verschiedenen Benetzungsverfahren durchgeführt. So wurden Fasern mit Bindemittel besprüht, im nassen Zustand gemischt und im Rahmen einer Masterarbeit mittels einer Form in Bindemittel getaucht.

Hierbei wurden die Posidonia-Fasern schichtweise in eine Form eingebracht und besprüht, wodurch diese Methode sehr zeitaufwändig war. Es ergab sich eine ungleichmäßige Verteilung des Bindemittels, sowie Fehlstellen, an welche kein Bindemittel gelangte. Weiterhin wurden Fasern durch den entstehenden Luftstrom aus der Form herausgetragen. Die mit dieser Methode erstellten Matten rieselten stark aus.

Die Mischung der Posidonia-Fasern im benetzten Zustand wurde mittels eines Mixers der Firma Lödige durchgeführt. Die Fasern wurden nach der Benetzung in eine Mattenform überführt. Beim Benetzen im Lödige-Mischer verklumpten die Fasern, so dass keine Matten mit gleichmäßiger Faserstruktur hergestellt werden konnten und es bildeten sich Phasengrenzen in den Matten, an welchen sie nach Trocknung zerfielen.

Sowohl die Sprühmethode, als auch das Benetzen im Lödige-Mischer erwies sich als ungeeignet für die Mattenherstellung im Rahmen des Projekts. Daher wurde entschieden, die Fasern durch Tauchen in das Bindemittelbad zu benetzen. Dabei wurden die Fasern im trockenen Zustand in eine dafür angefertigte Form (Siebkasten) überführt und in ein Bindemittelbad mit einer speziellen Konzentration an Binder getaucht. Überschüssiges Bindemittel wurde danach durch Auspressen oder Schrägstellung des Siebkastens entfernt. Die dabei erstellten Matten wurden mittels vier Trocknungsmethoden getrocknet und aktiviert.

Die in diesem Verfahren erstellten Matten besaßen eine Dicke von 5 – 8 cm. Es wurden zwei unterschiedliche Mattenarten erstellt. „Kleine Matten“ besaßen eine quadratische Form und eine Kantenlänge von 15 cm, „große Matten“ besaßen bei einer quadratischen Form eine Kantenlänge von 45 cm. Kleine Matten wurden für orientierende Versuche verwendet, da weniger Zeit zu ihrer Erstellung benötigt wird. Weiterhin wurden kleine Matten für Prüfungen verwendet. Große Matten wurden nur zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit verwendet, da diese Prüfung eine Mindestkantenlänge von 25 cm benötigt.

2.4.1.1 Siebkasten

Es wurden zwei Siebkästen am ICT erstellt. Der quadratische große Siebkasten hat eine Kantenlänge von 450 mm und eine Höhe von 100 mm. Die Wände bestehen aus Edelstahl-Blech, wobei zusätzlich an Kanten und Rändern Verstärkungen aus Edelstahl-Blech angebracht wurden, um die Verletzungsgefahr zu verringern und die Stabilität zu erhöhen. Weiterhin wurden zur Erhöhung der Stabilität an der Unterseite zusätzlich zwei Verstärkungen mit einer Breite von je 15 mm angebracht.



Abbildung 42: Großer Siebkasten (450 mm x 450 mm x 100 mm)

Zum Anheben des Siebkastens dienen zwei gebogene, abnehmbare Stahldrähte (siehe Abbildung 42). Für den großen Siebkasten wurde zusätzlich der in Abbildung 43 gezeigte Siebdeckel zum Untertauchen der Fasern erstellt.



Abbildung 43: Siebdeckel



Abbildung 44: Kleiner Siebkasten (150 mm x 150 mm x 150 mm)

Wie beim großen Siebkasten wurden beim kleinen Siebkasten an den Kanten, als Verletzungsschutz und für zusätzliche Stabilität, Verstärkungen angebracht. In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass die Haftung der Fasern an den Wänden des kleinen Siebkastens ein Problem darstellt. Aus diesem Grund wurde der kleine Siebkasten im Inneren mit Teflon-Folie ausgekleidet.

Als Wanne für das Tauchbad wurde für den großen Siebkasten eine VA-Stahl-Wanne und für den kleinen Siebkasten eine Kristallisationsschale verwendet.

Zur Abschätzung der Flüssigkeitsaufnahme der Fasern wurden unterschiedliche Massen an Fasern mit Wasser benetzt und ausgepresst. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 gegeben. Dabei ist FA die Flüssigkeitsaufnahme der Fasern

Tabelle 6: Ergebnisse des Tauchversuchs

m_{F-t} [kg]	m_{F-n} [kg]	FA $\left[\frac{\text{kgWasser}}{\text{kgFasern}} \right]$
0,250	0,834	2,33
0,263	0,682	1,60
0,257	0,940	2,66
0,417	1,235	1,96
0,103	0,456	3,44
1,854	4,936	2,66

m_{F-t} : Masse Fasern trocken; m_{F-n} : Masse Fasern nass

Es zeigt sich, dass die FA der Fasern sehr stark schwankt (160 % - 345 % des Eigengewichts der Fasern). Dies wurde auf die Inhomogenität des verwendeten Materials zurückgeführt. Zum Teil waren in dem Material noch unzerkleinerte Faseragglomerate enthalten.

Der Bindemittelgehalt der Matten wurde über die aufgenommene Menge an Bindemittel bestimmt. Aus diesem Grund wurde eine Gleichung zur Berechnung des Verhältnisses zwischen Wasser und Bindemittel hergeleitet:

$$\frac{m_W}{m_{BMG}} = FA * w_{BMG} \left(\frac{1}{w_{BM}} - 1 \right) - 1$$

w_{BM} Gewünschter Gewichtsanteil Bindemittel in trockener Fasermatte [Gew.-%]

FA Flüssigkeitsaufnahme (bei 100-Gew.% = 1)

w_{BMG} Gewichtsanteil an festem Bindemittel im gelieferten Bindemittel

m_W Masse Wasser [g]

m_{BMG} Masse an Bindemittel (wie gekauft, also mit Wasseranteil)

Durch Druck mit den Händen bzw. mit dem Siebdeckel wurden die Fasern im eingetauchten Siebkasten vollständig benetzt. Anschließend wurde der Siebkasten aus dem Tauchbad entfernt und wie in Abbildung 45 gezeigt zum Abtropfen und Auspressen darauf gestellt.

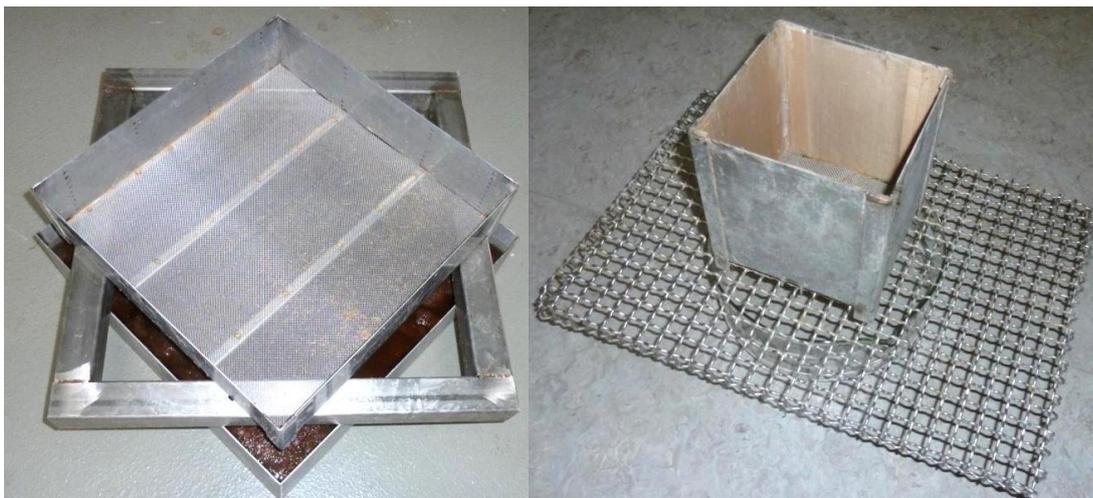


Abbildung 45: Abtropfposition der Siebkästen

2.4.1.2 Herstellung der „kleinen“ Matten (150 mm x 150 mm)

Die kleinen Matten wurden mittels Konvektion, im Vakuum-Trockenschrank VT6130, bzw. einer Temperaturkammer und Mikrowellenstrahlung getrocknet. Sie dienen dazu Bindemittelgehalte festzulegen, bei welchen die Bindemittel eine gute Bindung zeigen und Prüfungen durchzuführen, bei welchen keine Mindestprobengröße erforderlich ist.

Im Projektverlauf wurde der Abbauprozess von Posidonia-Fasern in einer Thermogravimetrischen Analyse gemessen (TGA; Abbildung 46) Dabei wurde eine Probe auf einer Waage gleichmäßig erhitzt und der Gewichtsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatur aufgenommen. Temperaturabhängige Masseänderungen der Probe, beispielsweise durch Trocknung oder pyrolytische Zersetzung der Probe, können so detektiert werden (genauere Verfahrensbeschreibung ist in [Böning 2009] enthalten).

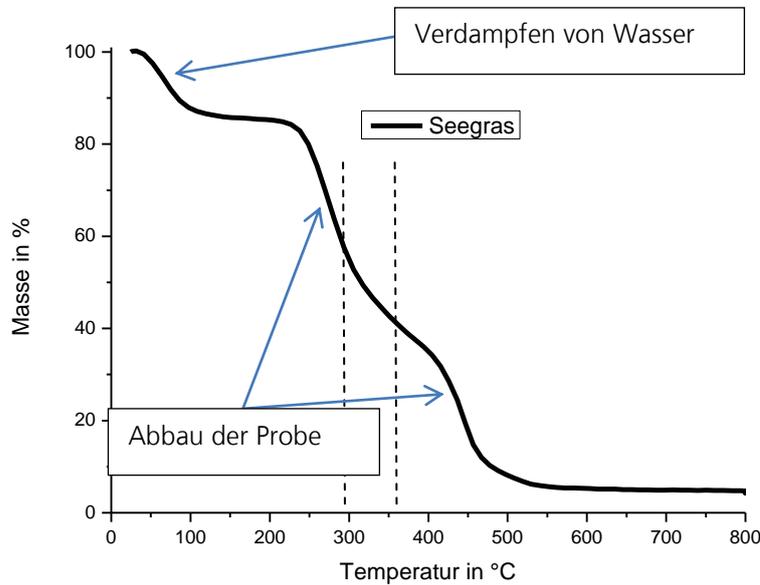


Abbildung 46: TGA von Posidonia-Fasern

In der TGA hat sich gezeigt, dass der Abbau der Fasern erst bei ca. 225 °C beginnt und der Trockenschrank starken Temperaturschwankungen unterliegt. Um die Pyrolyse der Fasern zu vermeiden, wurde der Trockenschrank zur Aushärtung von Binder A nur bei 165 °C betrieben. Fraglich ist, ob die gesamte Matte dieser Temperatur ausgesetzt wird, und vollständig aushärtet. In Tabelle 7 sind die Bindemittelanteile (BMA) der im Trockenschrank hergestellten Matten aufgeführt, wobei jeder Bindemittelanteil einer Matte entspricht.

Tabelle 7: Bindemittelanteile von in Temperaturkammer und Trockenschrank erstellten Matten

Binder E								
BMA [Gew.-%]	30,3	23,5	20,6	18,9	16,6	14,3	12,0	11,8
	8,5	8,3	5,4	5,3	4,5	3,4	2,4	1,4
Binder A								
BMA [Gew.-%]	26,0	23,5	19,7	13,7	10,3	7,3		
Binder B2								
BMA [Gew.-%]	37,5		32,6		27,8		20,9	
Binder B								
BMA [Gew.-%]	39,4	33,2	28,0	21,1	16,0			
Binder D								
BMA [Gew.-%]	37,2	30,8	25,3	19,9				
Binder C								
BMA [Gew.-%]	3,7	3,3	2,5	1,3				

2.4.1.3 Mikrowellenstrahlung

Neben der Aktivierung der Bindemittel mittels Konvektion in Trockenschrank und der Temperatorkammer wurde in Zusammenarbeit mit dem Bereich Polymer Engineering (PE) des Fraunhofer ICTs, eine Mikrowellenanlage konstruiert und angefertigt. Darin wurden Matten mittels Mikrowellenstrahlung getrocknet und aktiviert.

Mikrowellenanlage:

Es wurden zu Beginn kleine Matten hergestellt. Diese wurden hierbei mit Bindemittel benetzt und daraufhin in einen fahrbaren Kasten platziert, der automatisch unter den Antennen hindurchfuhr. Bei der Erstellung der ersten kleinen Matten wurde eine Trocknungsdauer festgelegt, welche für die weiteren Versuche verwendet wurde. Abbildung 47 zeigt eine Skizze der Mikrowellenanlage (Skizze ist Maßstabgetreu).

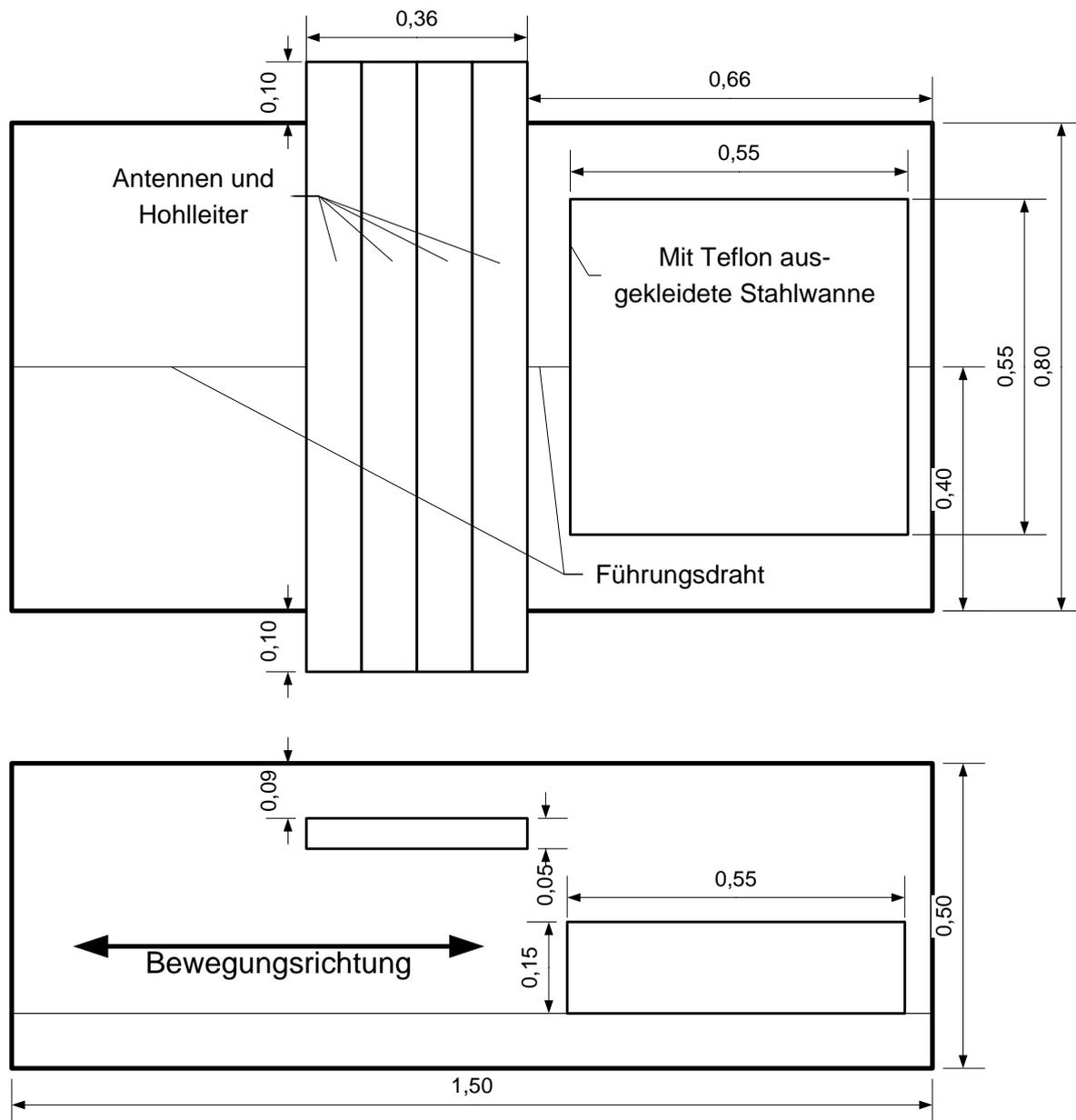


Abbildung 47: Drauf- und Vorderansicht der Mikrowellenanlage

Erkennbar ist der fahrbare Teflon-Kasten in einer Wanne aus Stahl, in welchem die feuchten Faserkuchen getrocknet wurden, die Antennen und Hohlleitern, sowie der Führungsdraht, mit dem der Kasten während des Betriebs automatisch bewegt wurde. Eine der vier Antennen ist in Abbildung 48 dargestellt.



Abbildung 48: Antenne des Mikrowellenstandes

Neben der Antenne ist in Abbildung 48 der geschlitzte Hohlleiter zum Transport und zur Verteilung der Mikrowellen zu erkennen.

In Abbildung 49 ist der Blick in den Mikrowellenstand von der Befüllöffnung aus dargestellt. Die Antennen wurden, um sie vor Wasserdampf zu schützen, mit Teflon-Folie ausgekleidet.



Abbildung 49: Sicht in den Mikrowellenstand

Während der Versuche wurde die Anlage mittels eines Leckstrahlen-Messgerätes auf austretende Strahlung hin untersucht. Diese wurde mit einem Aluminium-Klebeband beseitigt.

Die Auswahl an Bindemitteln und -gehalten bei der Erstellung der kleinen Matten wurde aufgrund der Erfahrungen bei der Mattenherstellung mittels des Vakuumtrockenschrankes bzw. der Temperaturkammer getroffen. In der Mikrowelle wurden die Bindemittel verwendet, die in den vorausgegangenen Versuchen mit dem Trockenschrank vielversprechende Ergebnisse erbracht hatten.

Die Trocknungsdauer in der Mikrowelle wurde durch Versuche mit kleinen Matten festgelegt. Nach der Mikrowellentrocknung wurden diese in der Temperaturkammer nachgetrocknet. Dies war notwendig, da bei dem Versuch der vollständigen Trocknung die Fasern teilweise verkohlten (mögliche Ursachen sind ein ungleichmäßiges Feld, oder Fremdpartikel).

In Tabelle 8 sind die in der Mikrowelle verwendeten Bindemittelanteile in den Matten angegeben.

Tabelle 8: Bindemittelanteile von im Mikrowellenstand hergestellten Matten

Binder E								
BMA [Gew.-%]	20,4	18,7	14,4	6,6	14,2			
	16,9	12,2	6,5	5,3	9,8			
Binder A								
BMA [Gew.-%]	25,2	18,7	15,7	11,2				
Binder B								
BMA [Gew.-%]	29,1	18,0	12,0	11,5	14,6	9,1	6,4	17,1

Bei den Bindern A, B und D wurde durch die Trocknung eine Art „Sandwich-Effekt“ erreicht. Das Wasser-Binder-Gemisch wurde zum größten Teil nur an der Oberfläche verdampft und ergab so eine feste „Schale“ aus Binder. Beim Aufschneiden der Proben zeigte sich, dass im Inneren der Matten kaum Bindemittel vorhanden war. Eine Matte, die mittels des Binders A im Trockenschrank hergestellt wurde (links) ist in Abbildung 50 mit einer Matte, welche mittels des Binders E in der Mikrowelle hergestellt wurde (rechts), verglichen.



Abbildung 50: Matten mit 14 Gew.-% A aus dem Trockenschrank (links) und 14 Gew.-% E aus der Mikrowellenanlage (rechts)

Erkennbar ist bei der linken Matte mit Binder A, die im Trockenschrank getrocknet wurde, eine Schale aus Bindemittel (z. B. roter Kasten) am Rand der Matte. Das Innere der Matte besteht zum Großteil aus losen Fasern. Bei der rechten Matte, welche mit Binder E hergestellt und mit Mikrowellenstrahlung getrocknet wurde, war eine gute Bindemittelverteilung im Inneren der Matte zu erkennen, während die Randbereiche weniger Bindemittel enthalten.

Der „Sandwich-Effekt“ war bei durch Mikrowellenstrahlung getrockneten Matten nicht ausgeprägt, weshalb diese eine weiche Oberfläche besitzen. Dies wurde darauf zurückgeführt, dass die Flüssigkeit nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Inneren der Matte verdampft. Zusätzlich ist der Zeitbedarf der Mikrowellentrocknung (60 Minuten) wesentlich geringer, als bei der Trocknung im Trockenschrank. Probleme haben sich beim Herausheben der nicht vollständig getrockneten Matten ergeben, da diese sich noch leicht verformen ließen und Unebenheiten und zum Teil Brüche beim Herausheben aus dem Mikrowellenstand entstanden.

2.4.1.4 Herstellung der großen Matten (450 mm x 450 mm)

Nach der Fertigung der kleinen Matten mit beiden Verfahren wurden diese optisch bewertet. Ein Bindemittelanteil, welcher bei allen Matten und Verfahren gute Ergebnisse gezeigt hat, wurde für die Herstellung der großen Matten festgelegt. Große Matten wurden mit dem festgelegten Bindemittelanteil und den vielversprechendsten Bindemitteln hergestellt.

Bei einem Bindemittelgehalt von 15 Gew.-% war bei den in beiden Verfahren verwendeten Bindern A, B und E eine gute Bindung zu erkennen. Der Bindemittelgehalt von 15 Gew.-% wurde aus diesem Grund für die großen Matten festgelegt.

Es wurden mit den beiden Verfahren Temperaturkammer und Mikrowellenanlage je drei große Matten hergestellt, je Verfahren eine Matte mit den Bindern A B und E. In Tabelle 9 sind Daten der erstellten großen Matten angegeben.

Tabelle 9: Daten hergestellter großen Matten

Bindemittel	Trocknungsmethode	BMA [Gew.-%]	Dichte [kg/m ³]
E	Temperaturkammer	11,6	175
E	Mikrowelle	16,6	218
B	Temperaturkammer	9,3	160
B	Mikrowelle	16,5	209
A	Temperaturkammer	8,2	172
A	Mikrowelle	14,9	246

Bei der Versuchsdurchführung zur Herstellung der großen Matten tropfte teilweise mehr Bindemittel ab, dadurch wurden die Soll-Bindemittelanteile nicht erreicht. Bei den großen Matten wurde durch eine Schrägstellung des Siebkastens von ca. 75° ein starkes Abfließen des Bindemittels erreicht. Daraus wird geschlossen, dass sich die in den Siebkasten eingebrachten Fasern im Abtropfverhalten anisotrop Verhalten und sich beim Einbringen horizontale Grenzschichten bilden, über die die die Flüssigkeit abfließen kann. Zusätzlich hat sich ein anderes Flüssigkeitsaufnahmeverhalten bei den in der Temperaturkammer getrockneten Matten gezeigt. In diesem Fall wurden die Fasern in der benötigten Menge (je ca. 2-2,5 kg pro Matte) direkt nach der Zerkleinerung abgenommen. Diese Fasern nahmen im Vergleich zu den in der Mikrowelle eingesetzten, vorzerkleinerten Fasern weniger Bindemittel auf.

Beim Herausnehmen der Matten aus der Mikrowelle ergaben sich zusätzlich Probleme, da die Matten beim Herausheben der Teflon-Folie aus dem Kasten gebogen wurden. Zum Teil entstanden auch kleine Risse.

2.4.2 Herstellung von Dämmplatten am ICT

Mittels einer beheizbaren Einkolbenpresse der Firma Bürkle wurden Matten mit den Bindern B und E erzeugt. Es wurden unterschiedliche Fasermengen auf verschiedene Plattendicken gepresst und unter einem Temperaturregime getrocknet.

Die Versuche wurden auf der Bürkle Presse des K LW-Technikums durchgeführt. Die Steuerung erfolgte über den Weg und die Temperatur. Die Verarbeitung zu Platten war problemlos möglich, dabei besaßen selbst Matten mit einer Dicke von 1 mm guten Zusammenhalt. In Abbildung 51 ist ein Schnitt durch eine gepresste Posidonia-Platte mit dem Binder E dargestellt.



Abbildung 51: Schnittkante einer gepressten Posidonia-Platte mit Binder E

Die so erstellten Platten besaßen eine homogene Faserstruktur und starke Verzahnung.

2.4.3 Herstellung von Verbunddämmmatten aus Hanf und Posidonia (ICT)

In bereits existierenden textiltechnischen Prozessen werden Hanffasern bei der Firma Hanf Hock in Nördlingen zu gebundenen Dämmmatten verarbeitet. Es zeigte sich, dass die Posidoniafasern zu kurz sind, um sie mit den technischen Faserlegemaschinen verarbeiten zu können. Daher wurde angestrebt, Matten in der Kombination mit den längeren Hanffasern zu produzieren. In zwei Versuchsreihen wurden an zwei unterschiedlichen Stellen des Produktionsprozesses der Firma Hanf Hock Posidonia-Fasern eingebracht (Abbildung 52)

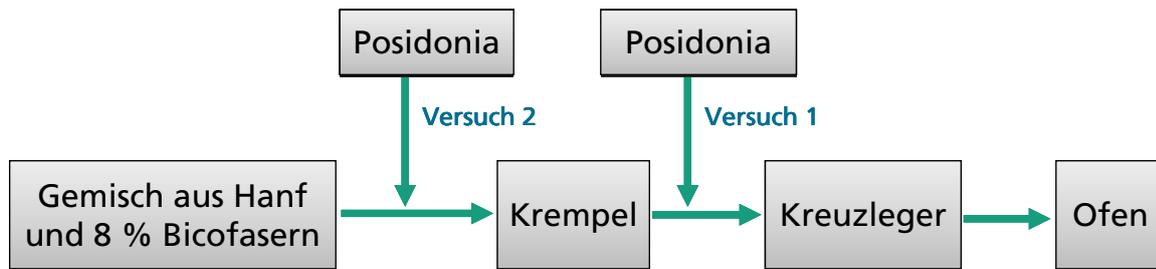


Abbildung 52: Prozessschema zur Herstellung der Verbunddämmatten

Im Kreuzleger werden einzelne dünne Schichten an ausgerichteten Fasern aufeinandergelagt. Werden die Posidoniafasern wie bei Versuchsreihe 1 geschehen, direkt vor dem Legeprozess eingestreut, so entsteht in der Gesamtdämmmatte ein Schichtaufbau abwechselnd zwischen Hanf- und Posidonia-Schichten (Abbildung 53). Mit dieser Versuchsanordnung war es möglich, einen Posidonia-Anteil in der Gesamtmatte von bis zu 30% zu erreichen. Da nur die Hanffasern mit den Bindefasern vermischt sind, würde bei höheren Posidonia-Anteilen die Matte an den Posidoniaschichten nicht verklebt und würde auseinanderfallen.



Abbildung 53: Versuchsanordnung 1 zur Verbundmattenherstellung und gelegte Matte nach dem Kreuzleger

In Versuchsanordnung 2 werden die Fasern vor der Faserausrichtung im Krempeler zugemischt. Das führt dazu, dass etwa 1/3 der Posidonia-Fasern während des Krempelprozesses unten herausfallen. Zwei Drittel der Fasern verblieben aber im Prozess und es konnten hiermit gleichmäßig vermischte Matten mit einem Posidoniaanteil von bis zu 17% Massenanteil hergestellt werden. Das Raumgewicht von reinen Hanfmatten liegt bei 34 kg/m³. Die Dichte der in den 2 Versuchsreihen hergestellten Matten lag zwischen 33 und 36 kg/m³. Das bedeutet, dass durch die Zumischung von Posidonia-Fasern keine Erhöhung des Raumgewichtes stattfand.

Die Versuche bei der Firma Hanf Hock haben gezeigt, dass es prinzipiell machbar ist, Verbunddämmatten in einem Textilprozess herzustellen.

2.4.4 Arbeiten bei Fiber Engineering (FE)

Zur Bewertung der Bindersysteme werden Musterplatten in den Abmessungen 500x500mm gefertigt. Der Füllprozess durchläuft alle Komponenten der Anlage zur Herstellung von Serienteilen. Dadurch können die Maschinenteile für eine spätere Produktion mit dem FIM Prozess auf Eignung getestet werden.

Die einzelnen Komponenten der FIM Anlage zur Herstellung von Dämmplatten sind Kastenspeicher zur Bevorratung der Fasern, Feinöffner zum öffnen und mischen, Füllschacht zum Dosieren und Blasmaschine zum Eintrag der Fasern in ein Werkzeug.



Abbildung 54: Kastenspeiser



Abbildung 55: Feinöffner



Abbildung 56: Füllschacht



Abbildung 57: Blasmachine

2.4.4.1 AP4.2 Mattenherstellung im Blasverfahren

Die Mischungen mit Bicofasern wurden in ein einfaches, 500x500mm planes Lochblechwerkzeug eingeblasen. Die thermische Aktivierung erfolgte danach mittels Heißluft auf der Techniksanlage.



Abbildung 58: Bicofaser kurz, 12mm



Abbildung 59: Bicofaser lang, 51mm



Abbildung 60: Werkzeug 500x500mm

Anschließend fand eine erste Begutachtung der Bauteile hinsichtlich der Bindung der Posidonia-Fasern statt. Die Bindung wird als ausreichend betrachtet, wenn das Formteil in einem Stück aus dem Werkzeug entnommen werden kann und danach seine Kontur beibehält, ohne auseinander zu fallen. Das Formteil ist in Ordnung, wenn keine Partikel aus dem Teil herausrieseln.

Alternativmischung mit Recyclingbaumwolle

Eine zu einem Musterteil verblasene homogene Mischung von Posidonia Fasern mit Baumwollrecyclingfasern und Bicofasern wurde einem Brandtest unterzogen. Der Grundgedanke dabei war, dass die Baumwolle einen Großteil der Kurzfragmente der Posidoniafaser binden könnte.

Ziel dieses Versuches ist der Ersatz der meist chemisch wirkenden Brandverhinderer in Faserformteilen durch die Nichtbrennbarkeit der Posidonia Faser.

Ausgehend von einer Mischung im Verhältnis von 35:35:30 (Baumwollrecycling: Posidonia : Bicofaser) zeigte sich, dass die Seegrasfaser überwiegend im Faserverbund verbleibt, wobei Sandpartikel und Staubfasern beim Ausklopfen heraus rieseln. Die Baumwolle kann damit zwar die Kleinteile binden, aber nicht dauerhaft. Die Musterplatte erfüllte die Brennprobe nach TL1010 der Volkswagen Gruppe. Danach wurde eine weitere Platte mit längerer Flammzeit und heißerer Flamme bearbeitet, um die verschärfte TL1011 nach Nichtbrennbarkeit zu prüfen. Das Ergebnis bestand in einer völligen Verkohlung der Oberfläche, wobei jedoch kein selbstständiges Weiterbrennen nach dem Verlöschen der Flamme beobachtet werden konnte. Ein Abtropfen von Probensubstanz erfolgte nicht. Allerdings gab es im Innern noch Glutnester, welche nach der TL1011 nicht erlaubt sind. Diese Glutnester erloschen jedoch schon nach kurzer Zeit. Um eine eindeutige Aussage zur Möglichkeit einer Zulassung zu erhalten, muss ein entsprechender Fachmann aus dem Automobilbereich hinzugezogen werden.



Abbildung 61: Musterplatte



Abbildung 62: Brennprobe nach TL1010 (VW)



Abbildung 63: Musterplatte nach intensiver Beflammung

Bindung mit Klebefasern

Die Bindung war bei den niedriger schmelzenden Klebefasern etwas besser als bei den höher schmelzenden. Die höher schmelzenden Fasern erfordern eine wesentlich längere Beheizungszeit, was gegen die gewünschte Taktzeit in der Automobilbranche von ca. 1 Minute spricht.

Die Verwendung von Schmelzklebefasern brachte ebenfalls keine für im Kfz geeignete Dämm-Anwendungen geeignete Bauteile. Eine höhere Verdichtung oder ein erhöhter Anteil der Schmelzklebefaser bringt ein festes Bauteil, wie ein Test ergab. Bei einem durchschnittlichen Preis von über 2,00 Euro/kg Schmelzklebefaser können damit allerdings keine Markt gerechten Bauteile erzeugt werden.

Flüssig aufgetragene Binder

Versuch hartes Trägerteil

Die Materialmischung erfolgte gemäß AP3 mit dem Binder des Herstellers 1 und nach einer Trockenzeit von 2 Tagen unter Raumluft die Herstellung einer Platine von 200 x 200 mm in der Presse.

Dazu wurden die beleimten, trockenen Fasern über das Blassystem in das Werkzeug eingeblasen, anschließend auf einer Laborpresse unter Druck erhitzt, verpresst und der Binder thermisch

aktiviert. Dabei entstand eine Musterplatte mit einer Dichte von 9 kg/dm^3 und einer Plattendicke von 1,7 mm, wie in Abbildung 5 bereits dargestellt.

Materialbewertung nach OEM Spezifikationen

Nachdem einzig mit Binder A hergestellte feste Platten eine ausreichende Festigkeit aufweisen, wurden diese nach den Spezifikationen der OEM's auf Verwendung im Automotivebereich untersucht. Die harten Platten mit Posidonia Fasern eignen sich durch die Festigkeit, die schwere Entflammbarkeit, sowie die Beständigkeit bei Feuchte gut für Anwendungen bei:

Motorraumisolierungen

Unterbodenisolierungen

Mit Musterteilen wurden die Kriterien nach TL1010 des VW-Konzerns erfolgreich getestet. Andere OEM's haben ähnliche Spezifikationen.



Brenntest

Probe Wärmelagerung

Probe Klimalagerung

Abbildung 64: Posidonia Platte

Die Ergebnisse der Flammtests lauten:

- kein Entzünden der Probe innerhalb der Beflammungszeit
- glimmen während der Beflammung
- kein Nachglimmen der Proben nach Beflammung
- keine Rauchentwicklung während der Beflammung
- keine Rauchentwicklung nach der Beflammung
- kein Durchbrennen eines Loches
- kein Abtropfen brennender Substanz

2.5 AP5 Faserbauteilherstellung (FE)

2.5.1 AP5.1 Definition Anwendungsfelder (FE)

Generell können die Anwendungsfelder der mit Posidonia Faser gebildeten 3D Bauteile in zwei Bereiche, weiche Dämmteile und harte Trägerteile, gegliedert werden.



Abbildung 65: Anwendungen Faserformteile im Kfz

Weitere Unterscheidungsmerkmale sind duroplastisch oder thermoplastisch gebundene Faserteile. Die duroplastisch gebundenen Teile werden nur noch außerhalb des Innenraumes verwendet wie z.B. im Motorraum, Kofferraum oder als Unterbodenschutz. Thermoplastisch gebundene Formteile werden fast nur im Innenraum eingesetzt und teilweise bei den Radlaufschalen außerhalb.

Definition des Zielmarktes

Bei den 2D- und 3D-Faserformteilen handelt es sich um Produkte aus dem Bereich der Formteileproduktion. Aufgrund des großen Potenzials im Bereich der Automobilzulieferindustrie wird hier der Schwerpunkt gesetzt. Weitere Anwendungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Mobilität bestehen in den Bereichen Schienenfahrzeuge, Flugzeug- und Schiffsindustrie.

2.5.2 AP5.2 Fasermischungen thermoplast

Fasermischung mit Bicofasern und Einblasen in ein 3D-Werkzeug

Posidonia Fasern wurden im gleichen Mischungsverhältnis (wie unter 2.4.1 beschrieben) in eine 3D Werkzeugkontur zu einem Faserformteil eingeblasen. Das Formteil entspricht der Stirnwand Passat innen.

Für das spezielle Einblasverfahren FIM von Fiber Engineering werden im Gegensatz zu anderen Form gebenden Verfahren drei Teilformen für ein Bauteil benötigt.



Abbildung 66: Press-Unterwerkzeug



Abbildung 67: Press-Oberwerkzeug



Abbildung 68: Einblas-Oberwerkzeug

Nur mit diesen drei Werkzeugteilformen ist es möglich, die gewünschten Dichteveränderungen der OEM's in den Bauteilen automatisch herzustellen. Dieses Verfahren wurde von Fiber Engineering entwickelt und patentrechtlich geschützt. Eine erste Serienanwendung erfolgt in den Bauteilen Stirnwand innen und Bodenisolierung für den VW Passat USA im Modelljahr 2011.

Ergebnis:

Die Fasermischung ist ohne Probleme mit der Anlage verarbeitbar.

Die Vorteile dieser Fasermischung bestehen in der Erfüllung der Bedingungen der Schwerentflammbarkeit nach TL1010 (VW).

In Verbindung mit Recyclingbaumwolle ist zumindest keine Verschlechterung der akustischen Eigenschaften feststellbar.



Abbildung 69: Stirnwand Innen VW Passat



Abbildung 70: Detail Lenksäule



Abbildung 71: Detail Beifahrerseite

Allerdings zeigten die Seegrasfasern folgende Nachteile:

sie waren nicht homogen im Bauteil vermischt und

waren nicht „rieselfest“ in das Bauteil eingebunden

außerdem war das Bauteil schwerer, als ein vergleichbares Teil ohne Posidonia

zudem war keine homogene Mischung möglich

Eine bessere Homogenität ist mit der Seegrasfaser schwierig herstellbar. Dazu müssten die Fasern mehrmals einen Mischungsprozess durchlaufen, was jeweils zu einer Verkürzung der Fasern führt. Dadurch wird die Festigkeit negativ beeinträchtigt und mehr Kleinanteile rieseln aus dem Bauteil. Speziell im Innenraum dürfen sich keine Fasern oder Partikel aus dem Bauteil lösen. Dies dürfte nach den bisherigen Ergebnissen mit der Verwendung von Bindefasern nicht möglich sein.

Fazit:

Eine Verwendung von Seegrasfasern für Innenraumbauteile im Kfz, gebunden mit einer Klebefaser, scheidet nach bisherigen Erkenntnissen aus.

2.5.3 AP5.2 Fasermischungen mit flüssigen Bindern

Herstellung eines 3D Faserformteil für Kfz, duroplastisch mit einem Flüssigbinder gebunden.

Posidonia Fasern wurden geöffnet und mit einem auf PUR Basis hergestellten Flüssigbinder 2 besprüht und anschließend getrocknet. Die getrockneten Fasern bildeten einen losen Verbund, der im Durchlauf unseres Füllschachtes zu Einzelfasern wieder geöffnet wurde und somit in ein Werkzeug eingeblasen werden konnte.

Bedingt durch den hohen Staubanteil der mehrfach geöffneten Fasern und der Verwendung eines duroplastischen Binders wurde zum Schutz des Unterwerkzeugs ein Deckvlies eingelegt. Dieses Vlies wurde über Unterdruck während des Einblasvorgangs im Werkzeug gehalten und mit den Fasern hinterblasen.

Als Werkzeug wurde wieder das Werkzeug der Stirnwand innen des Passat verwendet.



Abbildung 72: Stirnwand innen



Abbildung 73: Detail Fahrerseite

Ergebnis:

Die Fasermischung hat sich mit einem Problem mit der Anlage verarbeiten lassen.

Vermutlich durch die Reibungshitze an den Öffnerwalzen wurde ein geringer Teil des verwendeten Binders bereits aktiviert. Dies führt zu einem klebrigen Belag auf den Walzen. Bei einer größeren Produktionsmenge müsste eine andere Garnitur ausgewählt werden, um ein Verkleben zu verhindern. (Evtl. eine beschichtete Garnitur.)

Vorteil der Fasermischung:

das Bauteil erfüllt die Schwerentflammbarkeit nach TL1010 (VW)

die vorher bekannten Staubanteile sind durch den Binder überwiegend gebunden

Allerdings zeigten sich folgende Nachteile:

die mit Binder besprühten Fasern können nur mit einem Deckvlies verarbeitet werden, da sonst ein festkleben im Werkzeug stattfindet.

ein akustischer Nutzen der reinen Posidonia Faser ist nicht erkennbar, auf Grund der groben Faserstruktur

Noch ausstehend sind weitere Versuche mit flüssig auf die Fasern aufgetragenen Klebesystemen des Binders. Da es sich beim ersten Versuch nur um ein Labormuster des Binders handelte, wird dieser Binder unseren Anforderungen derzeit weiterentwickelt und befindet sich somit noch in der Erprobung. Eine Fertigstellung wird erst nach Abschluss des Verbundprojektes erwartet.

2.6 AP6 Produktqualifikation (FE/ICT)

Die am ICT erstellten Matten wurden anhand unterschiedlicher Gesichtspunkte geprüft. Bei Fiber Engineering wurden Versuche zur Eignung der Posidonia-Fasern im Automobilbereich als feste Trägerteile durchgeführt.

2.6.1 Prüfungen an am ICT erstellten Matten

Die erstellten Matten wurden nach

- Aussehen,
- Geruch,
- Handhabung,

- Wasserbeständigkeit der Verklebung,
- Wärmeleitfähigkeit,
- Brandverhalten,
- Biegeverhalten
- Druckverhalten und
- Rückstellvermögen

geprüft und verglichen.

2.6.1.1 Erste Begutachtung der Matten

Diese Prüfung beschreibt den Eindruck, der beim Umgang mit den Matten entsteht. Hier wurde der Fokus auf

- Aussehen,
- Geruch und
- Handhabung

gelegt.

Die Farbe sollte der der Fasern im natürlichen Zustand entsprechen und es soll durch das Bindemittel kein vom Ausgangsgeruch der Fasern abweichender Geruch entstehen (z. B. nach verbrannten Fasern). Weiterhin soll die Handhabung der Matten unbedenklich sein, d. h. es soll keine Verletzungsgefahr bestehen (z. B. Stich einer Faser durch die Haut), es sollen keine Fasern ausrieseln und sie sollen formbar sein, ohne zu brechen.

Erkennbar war, dass die mikrowellengebundenen Matten im Gegensatz zu den Matten aus der Temperaturkammer keine „Schale“ aus Bindemittel besitzen. Weiterhin wiesen Matten aus Binder B häufig eine bräunliche Verfärbung auf. Dies wurde auf ausfallendes Soda und Potasche zurückgeführt.

Matten mit Binder A, die bei Temperaturen von über 160 °C im Vakuumtrockenschrank aktiviert und teilweise pyrolysiert wurden, rochen verbrannt. Bei keiner der anderen Matten war auffälliger Geruch wahrnehmbar.

Bei der Handhabung der Matten ist aufgefallen, dass bei Matten aus der Temperaturkammer, durch die starr aushärtenden Binder A und B und den Sandwich-Effekt, harte Fasern herausragten und bei der Handhabung Stiche verursachten. Bei der Handhabung fiel auch auf, dass nur Binder E eine flexible Bindung schafft. Matten mit Binder E konnten Belastungen ausgesetzt werden, ohne Schaden zu nehmen. Die mit den weiteren verwendeten Bindern erstellten Matten trugen zum Teil durch Belastung bleibende Schäden davon (es brachen Mattenstücke aus ihren Ecken heraus). Matten, welche im Trockenschrank hergestellt wurden, rieselten weniger stark aus als Matten aus der Mikrowelle. Dies wurde auch auf den Sandwich-Effekt zurückgeführt. Weiterhin rieselten Matten, die mit Binder E gebunden waren, am wenigsten aus.

2.6.1.2 Wasserbeständigkeit der Verklebung

Für die Prüfung auf Wasserbeständigkeit wurden im Trockenschrank hergestellte Matten mit allen verwendeten Bindemitteln, sowie Matten aus der Mikrowellenanlage und allen dabei verwendeten Bindemitteln neun Tage in Wasser eingetaucht. Die Bindung der Matten wurde im nassen Zustand, sowie nach Trocknung überprüft. Es wurden Matten verwendet, die nicht in den Druck oder Biegeversuchen zum Einsatz kamen. Zusätzlich wurde eine Matte aus orientierenden Versuchen [Amasifuen 2010] am ICT mit dem Binder C2 verwendet. Als Vergleich wurde eine Matte mit dem Binder C aus [Amasifuen 2010] in Wasser eingebracht.

Die mittels Binder C2 gebundene Matte zerfiel während der Einbringung in Wasser in lose Fasern, während Binder C eine sehr gute Wasserbeständigkeit besaß. Binder C ist nicht wasserbeständig und nicht als Bindemittel für Dämmmatten geeignet.

In Tabelle 10 ist eine Bewertung der Bindung nach zwei, fünf und neun Tagen im Wasser gegeben. Zusätzlich wurde die Bindung noch nach anschließender Trocknung in der Temperatorkammer bewertet.

Tabelle 10: Bewertung der Bindung nach Matten-Lagerung im Wasser

Binder	Bewertung der Bindung nach			
	2 Tagen	5 Tagen	9 Tagen	9 Tagen und Trocknung
A	+	+	+	+
A MW	++	++	++	++
E	++	++	++	++
E MW	++	++	++	++
B	+	+	+	++
B MW	+	0	0	0
B2	+	0	0	-
C	-	-	-	0
D	-	-	-	+

Legende: ++ Ausgangszustand; + Bindung abgeschwächt; 0 Bindung kaum vorhanden; - Bindung nicht vorhanden; MW Mikrowellengetrocknet

Es ist erkennbar, dass die Bindung von Binder C und D sich durch Eintauchen in Wasser sofort löst. Die Matte mit dem Binder C hat sich durch den niedrigen Bindemittelanteil aufgelöst, bei der mit Binder D gebundenen Matte wurde die Lösung der Bindung jedoch auf die Wasserlöslichkeit zurückgeführt. Nach der Trocknung in der Temperatorkammer hat sich bei den Matten, die mit Binder D und Binder C gebunden waren gezeigt, dass die aufgelöste Bindung sich wiederhergestellt hat. Die Bindung der Matte mit Binder B aus dem Trockenschrank hat sich nach Trocknung auch wieder sehr gut regeneriert, während die Bindung von Binder B2 nach der Trocknung kaum vorhanden war. Die mit Binder E in beiden Verfahren und Binder A in der Mikrowelle erstellten Fasern wiesen die beste Wasserbeständigkeit auf. Eine Einbringung in Wasser hat bei diesen Matten keine Änderung ihrer Eigenschaften hervorgerufen.

2.6.1.3 Dichtemessung

Die Dichte der Matten wurde über deren Kantenmaße und Gewicht bestimmt. Zusätzlich wurde die gemessene Dichte mit der Dichte gebräuchlicher Dämmstoffe verglichen.

Die Dichte aller Matten liegt zwischen 160 kg/m³ und 310 kg/m³. In Abbildung 74 sind die Dichten anderer üblicher Dämmstoffe angegeben und mit der Dichte von Posidonia-Matten verglichen.

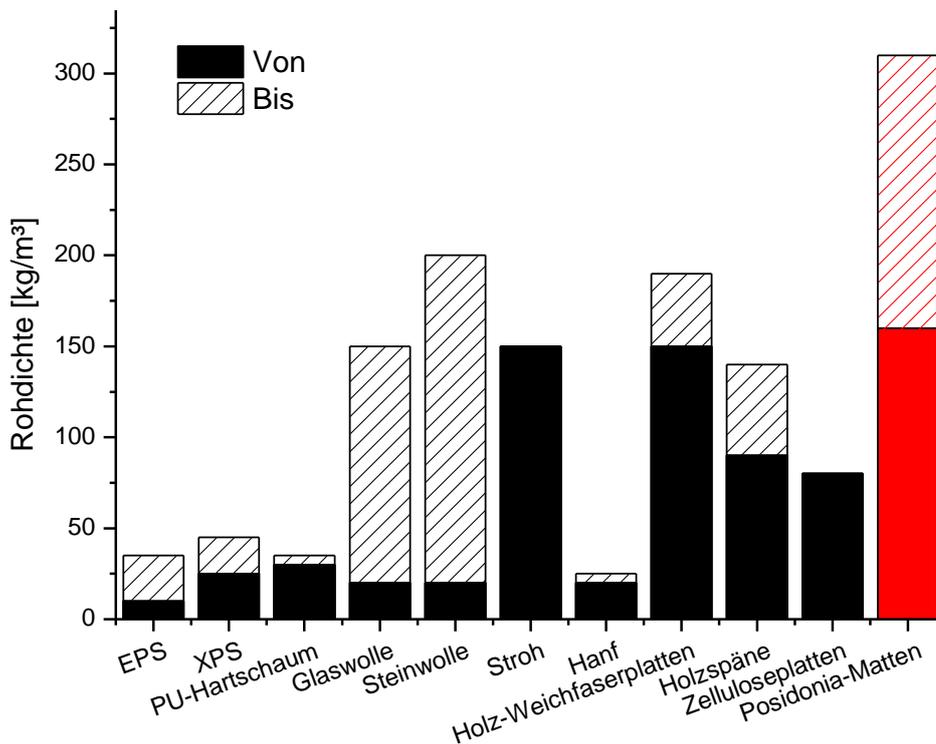


Abbildung 74: Dichten üblicher Dämmstoffe verglichen mit Posidonia-Matten ⁵

Anhand der Daten aus Abbildung 74 zeigt sich, dass die Matten von ihrer Dichte im oberen Bereich gebräuchlicher Dämmstoffe liegen.

2.6.1.4 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit ist eine materialabhängige Größe, die von dem Feuchtegrad und der Einbaudichte eines Materials abhängt. Sie gibt an, wie gut ein Material Wärme leitet. Dabei sollen die in dieser Arbeit erstellten Matten eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, um eine effektive Dämmung zu ermöglichen.

In Anlehnung an DIN EN 12667:2001: „Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät“ wurde die Wärmeleitfähigkeit der großen Matten gemessen.

Die Matten wurden nicht vollständig getrocknet gemessen. Es wurde durch Lagerung von mindestens 5 Tagen, bei Normalklima eine Ausgleichsfeuchte (Naturfeuchte) erzielt. Durch die Messung der Wärmeleitfähigkeit bei Naturfeuchte soll eine genauere Beschreibung des Einbauzustandes der Matten erreicht werden. Die Ergebnisse der Messungen bei Naturfeuchte wurden mit den Wärmeleitfähigkeiten gebräuchlicher Dämmstoffe verglichen.

Aufgrund der unebenen Oberfläche bedingt durch die Herstellung konnten die für die Wärmeleitfähigkeitsmessung benötigten Toleranzen im Bezug auf Oberflächenunebenheiten nicht eingehalten werden.

In Tabelle 11 sind die erhaltenen Ergebnisse dargestellt. Dabei wurden die mittels Mikrowellenstrahlung getrockneten Matten mit dem Kürzel MW versehen.

⁵ Dipl.-Ing. Lars Nierobis: Wärmedämmstoffe. Zuletzt aufgerufen am: 25.08.2011; Cham, 2003; <http://www.waermedaemmstoffe.com/>

Tabelle 11: Wärmeleitfähigkeitsmessungen an den großen Matten und einer losen Faserschüttung

Bindemittel	BMA [Gew.-%]	Wärmeleitfähigkeit [mW/(m K)]	Dichte [kg/m ³]
Fasern lose	0	41,9	95
Binder E	11,6	35,4	175
Binder E MW	16,6	44,1	218
Binder A	8,2	37,0	172
Binder A MW	14,9	-	246
Binder B	9,3	29,3	160
Binder B MW	16,6	44,5	209

Die mittels Mikrowellenstrahlung und dem Binder A hergestellte Matte konnte aufgrund zu großer Unebenheiten nicht gemessen werden.

Die Ergebnisse der Matten zeigten, dass die Dämmplatten zum Teil bessere Dämmeigenschaften besitzen als die lose Faserschüttung. Dies wurde jedoch auf verarbeitungsbedingte Lufteinschlüsse innerhalb der Matten zurückgeführt. Die in dieser Prüfung erhaltenen Ergebnisse werden nicht nur auf die Bindemittel zurückgeführt. Die Dichte der Matten hat auch einen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit.

In Abbildung 75 ist die Wärmeleitfähigkeit der Matten in Abhängigkeit der Dichte dargestellt.

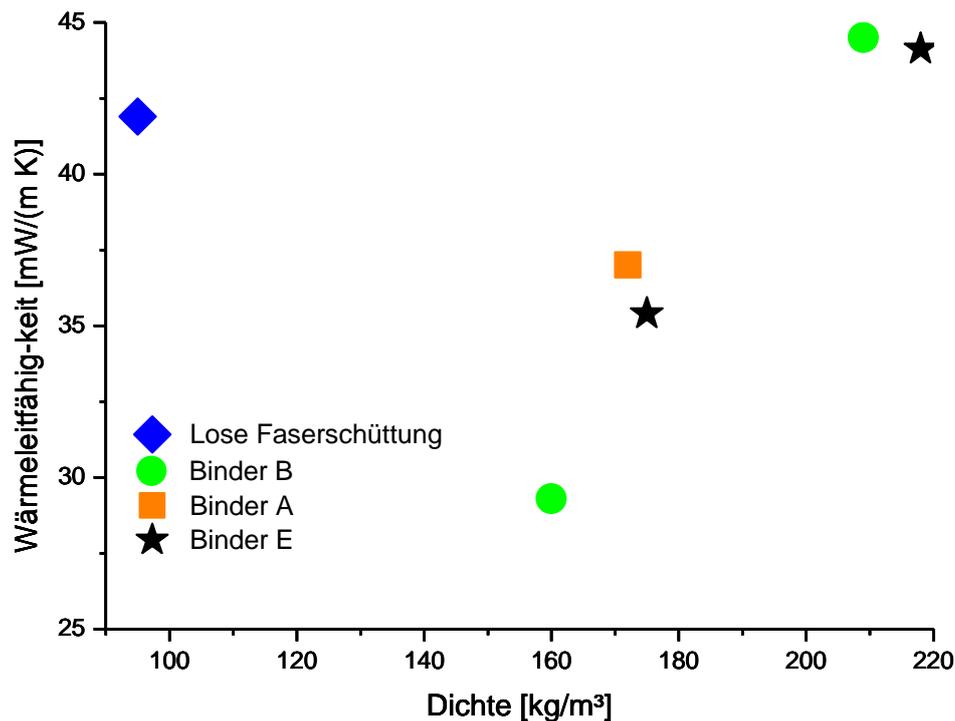


Abbildung 75: Wärmeleitfähigkeit der Matten in Abhängigkeit der Dichte

Hierbei zeigte sich, dass die Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Matten nicht direkt vom Bindemittel abhängt, sondern von der vorhandenen Dichte. Um die Wärmeleitfähigkeitsmesswerte mit anderen gebräuchlichen Dämmstoffen vergleichen zu können wurde eine Auswahl in Abbildung 76 angegeben und mit Posidonia-Matten verglichen.

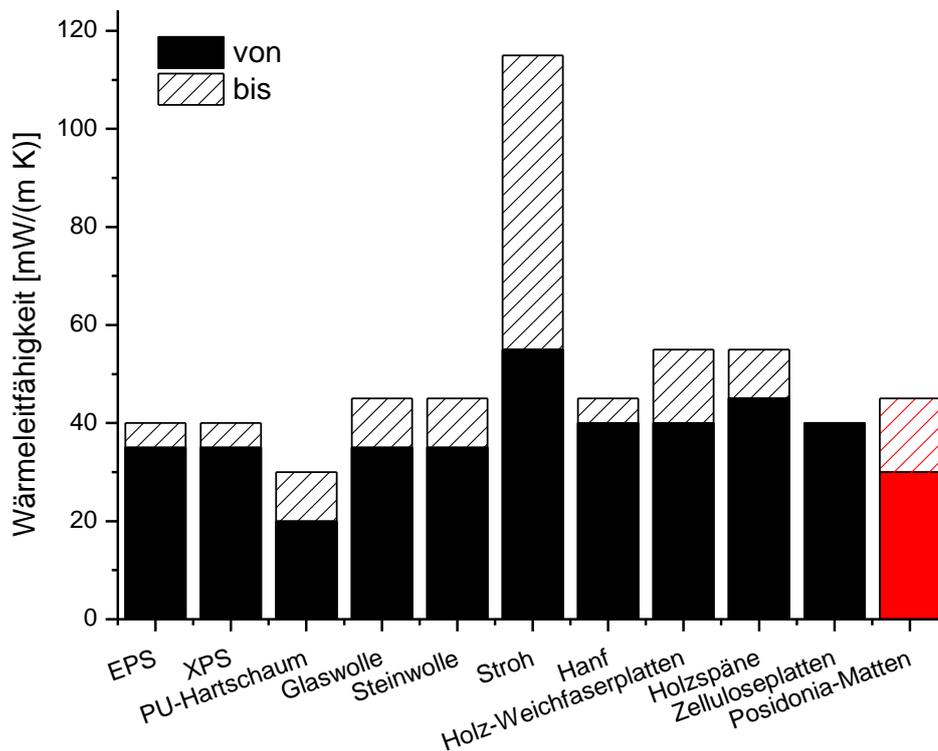


Abbildung 76: Wärmeleitfähigkeit üblicher Dämmstoffe verglichen mit Posidonia-Matten ⁶

Es zeigt sich, dass die hergestellten Matten ähnliche Wärmeleitfähigkeiten besitzen, wie heutzutage gebräuchliche Dämmstoffe.

2.6.1.5 Brandverhalten

Die Matten wurden in Anlehnung an den Brandschutztest nach DIN 4102-1, Mai 1998: „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ geprüft.

Alle erstellten Matten haben den Brandschutztest B2 bestanden. Damit sind alle Matten mindestens „normal entflammbar“ und das Brandverhalten hat sich durch die Zumischung von Bindemittel nicht verschlechtert.

2.6.1.6 Druckversuch

Die Matten wurden in einer Anlehnung an DIN EN ISO 3386-1: 11-1997 (Bestimmung der Druckspannungs-Verformungs-Eigenschaften) geprüft. In Abbildung 77 ist der typische Verlauf einer Druckbelastung im Kraft-Stauchungs-Diagramm wiedergegeben.

⁶ Dipl.-Ing. Lars Nierobis: Wärmedämmstoffe. Zuletzt aufgerufen am: 25.08.2011; Cham, 2003; <http://www.waermedaemmstoffe.com/>

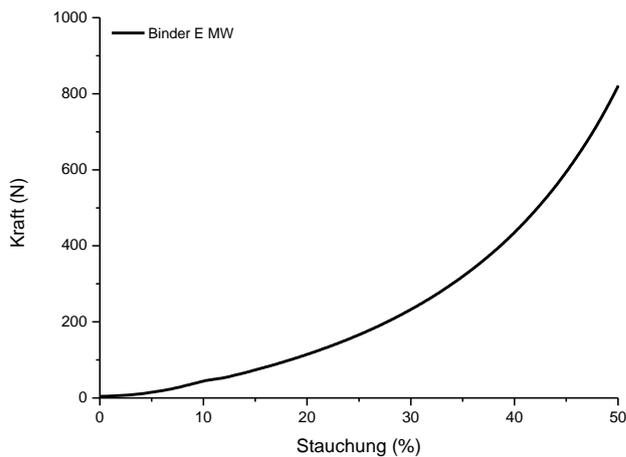


Abbildung 77: Typischer Verlauf einer Druckprüfung

Aus den Ergebnissen des Druckversuches wurde ein Druckmodul bestimmt. Dabei wurden die Kraftwerte der Prüflinge bei 10 % Stauchung über die Fläche der Probe in eine Druckspannung umgerechnet und auf 1 % Stauchung bezogen. Der Druckmodul macht eine Aussage darüber, ob das Bindemittel mit den Fasern eine gute Matrix gebildet hat. Bei einer guten Bindemittelmatrix werden die Prüflinge der Stauchung schon von Beginn an eine höhere Kraft entgegensetzen. In Abbildung 78 sind die Druckmoduln aller gemessenen Proben aufgetragen.

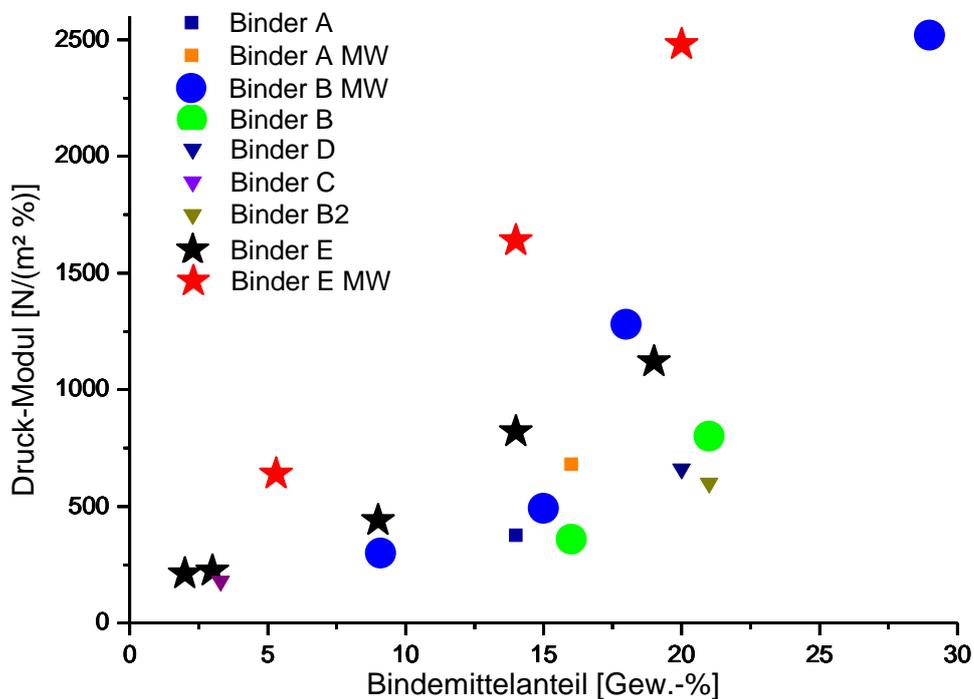


Abbildung 78: Druckmoduln aller gemessenen Proben

Es ist ein zum Bindemittelanteil proportionaler Anstieg der Druckmoduln zu beobachten. Dieser Anstieg legt die Vermutung eines linearen Zusammenhanges im betrachteten Bereich nahe. Der Druckmodul von mittels Mikrowellenstrahlung getrockneten Matten ist größer als von Matten aus dem Trockenschrank.

Die mit Binder E gebundenen Matten besitzen den größten Druckmodul, weiterhin erzeugt die Mikrowellentrocknung bei Binder E die höchsten Druckmoduln.

Die in der Mikrowelle hergestellten Matten sind den im Trockenschrank hergestellten überlegen. Dies wurde darauf zurückgeführt, dass der Großteil des Bindemittels im Trockenschrank an die Mattenoberfläche transportiert wird und dort verdampft. In der Mikrowelle hingegen wird die Matte auch im Inneren erhitzt, wodurch Bindemittel dort trocknet und somit mehr Adhäsion und eine bessere Matrix aufbaut.

Es wurde kein „Versagen“ der Probe beim Drucktest beobachtet, die Verklebungen in den Matten reißen von Anfang an kontinuierlich.

2.6.1.7 3-Punkt-Biegeversuch

Zusätzlich zu den Druckversuchen wurden 3-Punkt-Biegeversuche angestellt. Beim 3-Punkt-Biegeversuch wurde die Rückstellkraft und das Biege-, bzw. Bruchverhalten der Matten analysiert. Wie auch beim Druckversuch wurde im 3-Punkt-Biegeversuch ein Biegemodul bestimmt. Hierbei wurde der Biegemodul auf die Kraft, die benötigt war, um die Probe um 1 mm zu biegen, bezogen. Dabei wurden die Kraftwerte der Prüflinge bei 10 mm Durchbiegung verwendet und umgerechnet. Der resultierende Biegemodul gibt eine Aussage darüber, wie stark die Bindemittelmatrix einer Biegung entgegenwirkt.

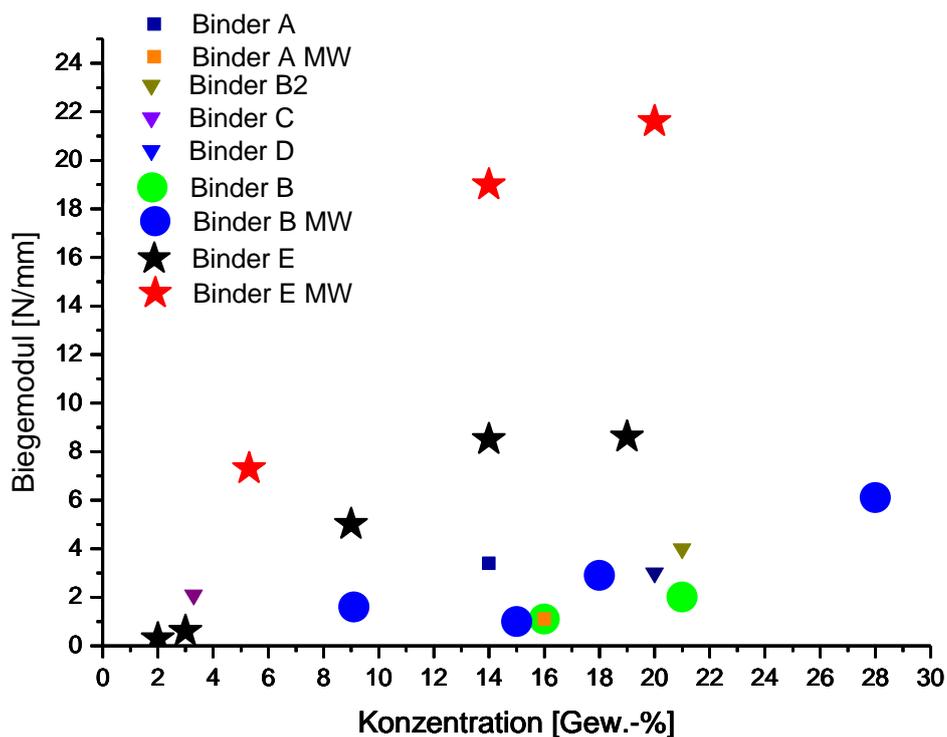


Abbildung 79: Biegemodul der Matten in Abhängigkeit des Bindemittelanteils

Binder E besitzt den größten Biegemodul, wobei die Matten aus der Mikrowelle trotz ihrer scheinbar weichen Oberfläche hier eine größere Biegefestigkeit als Matten aus der Temperatorkammer aufweisen. Weiterhin ist zu sehen, dass die weiteren verwendeten Bindemittel aufgrund ihrer starren Bindungen in dieser Prüfung keine guten Ergebnisse zeigten.

Optischer Vergleich der Biegeversuche:

Es wurden Matten mit 14 Gew.-% Binder A Binder E vor während und nach dem Biegeversuch.



Abbildung 80: Bilder Biegeversuch Binder E 14 Gew.-%

Bei vollständiger Durchbiegung ist deutlich zu erkennen, dass die Matte nur an den unteren Schichten zerreißt. Nach der Belastung entspannt sich die Matte jedoch wieder fast in die Ausgangslage.



Abbildung 81: Bilder Biegeversuch Binder A 14 Gew.-%

Im Gegensatz zu der Matte mit Binder E ist in bei Binder A nicht zu erkennen wo die Matte reißt. Nach der Belastung ist kaum Rckstellungskraft zu beobachten.

Alle Matten aus Temperaturkammer und Trockenschrank zeigten Tendenzen zum Sandwich-Effekt. Dieser war bei Binder E am wenigsten ausgeprägt.

2.6.1.8 Einblasen der Fasern

Eine Optimierungsmöglichkeit hinsichtlich der Erstellung eines automatisierten Verfahrens war es, die Fasern mit Hilfe einer Einblasmaschine einzubringen. Als orientierenden Versuch wurde der Siebkasten einmal beim Projektpartner (mit dem „Zellofant“ der Firma X-Floc) maschinell mit Fasern befüllt.

Das Einblasen der Fasern wurde bei der niedrigsten Einstellung des Gebläses durchgeführt, dennoch wurden viele Fasern neben den Siebkasten und aus dem Siebkasten herausgeblasen. Der mittels Einblasmaschine hergestellte Faserkuchen konnte nach dem Tauchen durch Schrägstellung gut von Bindemittel befreit werden und wurde mit dem Binder E benetzt. In Tabelle 12 sind die Daten der erstellten großen Matte angegeben.

Tabelle 12: Daten der eingeblasenen großen Matte

Bindemittel	m_{F-t} [kg]	BMA [Gew.-%]	BM-Konz. Bad [Gew.-%]
E	1,381	8,2	2,0
Dichte [kg/m ³]	m_{M-t} [kg]	FA [$\frac{kg_{Wasser}}{kg_{Fasern}}$]	Wärmeleitfähigkeit [mW/m K]
140	1,404	4,42	37

Hierbei zeigt sich, dass die Dichte der Matte geringer ist als die der anderen Matten (min. 160 kg/m³). Weiterhin wurde mehr Bindemittel aufgenommen, da es nicht durch Druck abgetropft wurde. In Abbildung 82 ist die Matte dargestellt.



Abbildung 82: Matte (eingeblassen und ohne Druck hergestellt)

Die Struktur der Matte war durch das Einblasen deutlich homogener, weiterhin war die Matte (im Vergleich zu den anderen hergestellten Matten) sehr weich und biegsam. Diese Art von Matten ist gut für den Einsatz als Dämmmatte geeignet. Das verwendete maschinelle Einblasverfahren bietet eine gute Grundlage zur Erstellung einsatzfähiger Dämmmatten.

2.6.1.9 Diskussion und Empfehlungen zu Bindemittel und Verfahren

Als optimaler Verfahrensweg hat sich die Zerkleinerung am ICT, Einblasen der Fasern mittels Einblasmaschine, Abtropfen der Fasern ohne Druck und Trocknung mit Binder E in der Mikrowelle herausgestellt. Dies wird in Abbildung 83 in grün dargestellt

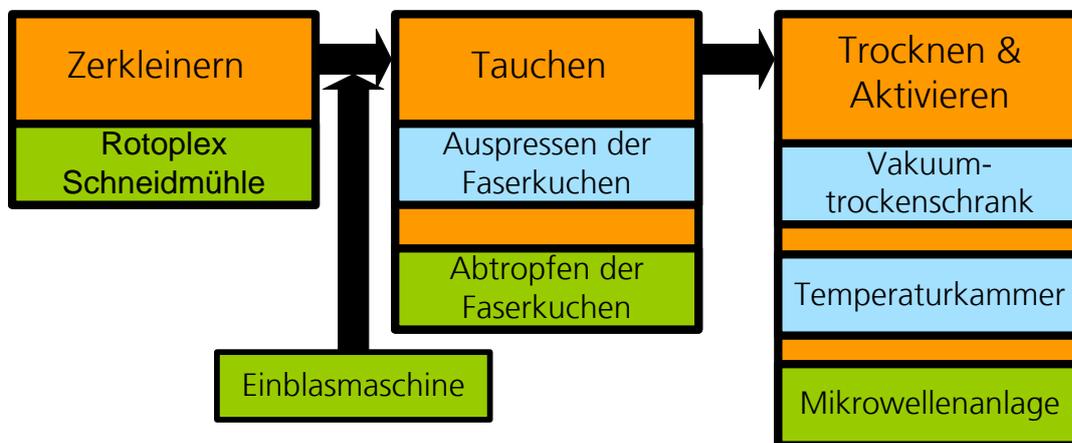


Abbildung 83: Optimaler Verfahrensweg

Die Verarbeitung von Posidonia-Fasern zu Dämmmatten ist ein neues Verfahren. Die Herstellung von Posidonia-Dämmmatten ist möglich und die erstellten Matten können in ihrer Wärmeleitfähigkeit und ihrer Dichte mit heutigen Dämmmaterialien konkurrieren. Das erarbeitete Verfahren bildet eine Grundlage zur großtechnischen Herstellung von Dämmmatten aus Posidonia-Fasern.

2.6.2 Posidonia Faser im Automobilbereich (FE)

Der Einsatz der Posidonia Faser für den Automobilbereich mit der FIM Technologie von Fiber Engineering ist für folgende Bauteile unter bestimmten Bedingungen möglich:

Feste Trägerteile wie z.B.

Motorkapselung

Kann nur mit einem duroplastischen Binder hergestellt werden, wegen der erhöhten Temperaturanforderung. Empfehlung Binder J oder die Weiterentwicklung des Herstellers.

Unterbodenschutz

Kann nur mit duroplastischem Binder hergestellt werden um die nötigen Eigenschaften der Schlagfestigkeit zu erreichen.

Türinnenverkleidung

Als reines Posidonia-Bauteil nur mit duroplastischem Binder.

Eventuell zusammen als Hanf/Posidonia Mischung mit einer PP-Faser thermoplastisch gebunden.

Hutablage

Eventuell zusammen als Hanf/Posidonia Mischung mit einer PP-Faser thermoplastisch gebunden.

Die weitere mögliche Anwendung mit festen Trägerteilen wie z.B. Radhaus- und Kofferraumauskleidung wurde im Rahmen des Projektes nicht untersucht.

Die positiven Ergebnisse aus dem Verbundprojekt fließen bei Fiber Engineering direkt in bereits laufende Projekte mit ein.

2.6.3 AP6.2 Akustik Bauteile

Ergänzende Bestimmung der akustischen Bauteileigenschaften für die 3D-Faserbauteile, Vergleich mit Anforderungen aus AP4.1.

Weiche Akustikformteile aus der Posidonia Faser für Stirnwand, Bodengruppe und Fenderteile sind nach den Ergebnissen mit den bisherigen Bindern nicht sinnvoll.

Eine weiche Verklebung/Verbindung der Posidonia Fasern ist mit der FIM Technologie für 3D Faserformteile im Automotivebereich derzeit nicht realisierbar. Entweder die Bindepunkte sind zu schwach, oder es erfolgt keine völlige Bindung der kleinen Faser-/Staubanteile und Sand. Dadurch rieseln nach der Herstellung Fragmente aus den Formteilen, was nicht toleriert wird.

Auch lässt die Struktur der Faser keine gute akustische Wirkung zu. Um tiefe Frequenzen wirksam zu dämmen muss eine ausreichend hohe Masse vorhanden sein. Hohe Frequenzen können am Besten mit feinen Faseranteilen gedämmt werden.

Die Posidonia Faser ist zu leicht für eine Dämmung in niedrigen Frequenzen. Außerdem ist die Faserstruktur zu grob, um wirksam filtern zu können.

Aus diesen Gründen wurde auf eine aufwändige Vermessung von Platinen für den Automotivebereich verzichtet. Das Messverfahren unterscheidet sich völlig vom Messverfahren für den Baubereich, weswegen hier auch keine Ableitung für diesen Einsatz möglich ist.

2.7 AP7 Umweltaspekte, Logistik und Marketing (RMC, ICT)

2.7.1 Konzeption einer Supply Chain (RMC)

2.7.1.1 Lokalisierung und Quantifizierung des Rohstoffvorkommens

Das Mittelmeer hat eine Küstenlänge von ca. 46.000 Kilometer. Davon entfallen auf EU-Staaten (Spanien, Frankreich, Italien, Slowenien, Griechenland, Zypern) ca. 25.400 Kilometer, auf europäische Nicht-EU-Staaten (Kroatien, Bosnien Herzegowina, Montenegro, Albanien, Türkei) ca. 11.700 Kilometer und auf nicht europäische Länder (Syrien, Libanon, Israel, Ägypten, Libyen, Tunesien, Algerien, Marokko) ca. 8.900 Kilometer.

Während der gesamten Projektlaufzeit wurde eine schriftliche und teilweise mündliche Befragung zur Lokalisierung und Quantifizierung der Rohstoffvorkommen am Mittelmeer durchgeführt. Befragt wurden die zuständigen Regierungsstellen der Anrainerprovinzen in Spanien, Frankreich, Italien, Griechenland und der Türkei. Insgesamt also eine Küstenlänge von ca. 29.800 Kilometer (= 65 % der gesamten Mittelmeerküste).

In den ehemaligen Balkanstaaten konnte aufgrund zum Teil fehlender Verwaltungsstrukturen und aufgrund mangelnder Personen mit entsprechender Sprachkompetenz keine Befragung erfolgen. Die politischen Ereignisse in Nordafrika haben uns von einer Befragung in diesen Ländern Abstand nehmen lassen.

Insgesamt wurden 150 Provinzregierungen mit unterschiedlichen Erfolgen befragt. Die Rücklaufquote in Spanien betrug 59 %, in Italien 52 % und in Griechenland 39 %. In Frankreich und in der Türkei konnte trotz Erinnerungsschreiben kein Rücklauf erzielt werden.

Befragt wurde:

- Wie lang ist die Küste Ihrer Provinz?
Angabe in ca. Kilometer
- Kommen die abgebildeten Posidonia-Bälle an der Küste Ihrer Provinz vor?
- Wann kommen die Posidonia-Bälle am häufigsten vor?
Januar bis März, April bis Juni, Juli bis September, Oktober bis Dezember
- Welche Größe haben die Posidonia-Bälle?
Golfball (2 bis 4 cm), Tennisball (5 bis 8 cm), Größer 8 cm
- Werden die Posidonia-Bälle entsorgt?
- Wer entsorgt die Posidonia-Bälle?
Anschrift und Kontaktdaten
- Können Sie uns eine Person oder Institution nennen, die wir zusätzlich befragen sollten?
Anschrift und Kontaktdaten
- Sind Sie an den Ergebnissen der Umfrage interessiert?
Anschrift und Kontaktdaten

Die Ergebnisse:

Tabelle 13: Befragungsergebnisse Spanien

Land	Spanien	
Zeitraum der Befragung	Juli - November 2010	
Provinzen mit Küste	Anzahl	17
Antworten	Anzahl	10
Rücklaufquote	%	58,8
Fragen	Antworten	%
Kommen die oben abgebildeten Posidonia-Bälle an der Küste Ihrer Provinz vor?	Ja	47,1
	Nein	11,7
	Weiss nicht	0,0
Wann kommen die Posidonia-Bälle am häufigsten vor?	Januar - März	27,3
	April - Juni	22,7
	Juli - September	13,6
	September - Dezember	36,4
	Keine Angabe	0,0
Welche Grösse haben die Posidonia-Bälle?	Golfball 2 - 4 cm	46,7
	Tennisball 5 - 8 cm	46,7
	Grösser 8 cm	6,6
	Keine Angabe	0,0
Werden die der Posidonia-Bälle entsorgt?	Ja	100,0
	Nein	0,0
	Keine Angabe	0,0

Tabelle 14: Befragungsergebnisse Italien

Land	Italien	
Zeitraum der Befragung	April - Juli 2010	
Provinzen mit Küste	Anzahl	62
Antworten	Anzahl	32
Rücklaufquote	%	51,6
Fragen	Antworten	%
Kommen die oben abgebildeten Posidonia-Bälle an der Küste Ihrer Provinz vor?	Ja	43,8
	Nein	40,6
	Weiss nicht	15,6
Wann kommen die Posidonia-Bälle am häufigsten vor?	Januar - März	34,6
	April - Juni	7,7
	Juli - September	3,8
	September - Dezember	23,1
	Keine Angabe	30,8
Welche Grösse haben die Posidonia-Bälle?	Golfball 2 - 4 cm	44,0
	Tennisball 5 - 8 cm	28,0
	Grösser 8 cm	4,0
	Keine Angabe	24,0
Werden die der Posidonia-Bälle entsorgt?	Ja	15,8
	Nein	52,6
	Keine Angabe	31,6

Tabelle 15: Befragungsergebnisse Griechenland

Land	Griechenland	
Zeitraum der Befragung	November 2010 - Februar 2011	
Provinzen mit Küste	Anzahl	41
Antworten	Anzahl	16
Rücklaufquote	%	39,0
Fragen	Antworten	%
Kommen die oben abgebildeten Posidonia-Bälle an der Küste Ihrer Provinz vor?	Ja	31,3
	Nein	62,5
	Weiss nicht	6,2
Wann kommen die Posidonia-Bälle am häufigsten vor?	Januar - März	37,5
	April - Juni	12,5
	Juli - September	12,5
	September - Dezember	25,0
	Keine Angabe	12,5
Welche Grösse haben die Posidonia-Bälle?	Golfball 2 - 4 cm	50,0
	Tennisball 5 - 8 cm	37,5
	Grösser 8 cm	12,5
	Keine Angabe	0,0
Werden die der Posidonia-Bälle entsorgt?	Ja	20,0
	Nein	80,0
	Keine Angabe	0,0

2.7.1.2 Auswahl der Transportwege unter ökologischen Gesichtspunkten

Der Transport der Neptunbälle von den Fundstellen rund ums Mittelmeer zur Produktionsstätte in Karlsruhe ist ökonomisch und ökologisch ein wichtiger Baustein der Lieferkette.

Bei der Lokalisierung der Fundstellen haben sich regional, jahreszeitlich und größenmäßig erhebliche Unterschiede ergeben. Es sind folgende Zentren festzustellen:

- Spanien: Almeria und Murcia
- Italien: Ligurische Küste und Sardinien
- Albanien: Vlora (durch andere Kontakte entstanden ohne Befragung)
- Griechenland: Thessaloniki

Während die ökonomische Beuteilung des Transportweges im wesentlichen von der Entfernung und vom Transportmittel (LKW, Bahn, Schiff, Flugzeug) abhängig ist, sind bei der ökologischen Betrachtung Einflussfaktoren wie primärer Energieverbrauch und Emissionen von Kohlendioxid, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Feinstaub und Schwefeldioxide zu berücksichtigen.

Das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg, und die Rail Management Consultants GmbH (RMCon) haben ein objektives Tool mit dem Namen "EcoTransIT" entwickelt, um die Emissionen des Güterverkehrs quantifizieren zu können. Dieses Projekt wurde von europäischen Eisenbahngesellschaften initiiert. Hierzu zählen DB Schenker Rail GmbH (Deutschland), Schweizerische Bundesbahnen SBB (Schweiz), Green Cargo AB (Schweden), Trenitalia S.p.A. (Italien), Société Nationale des Chemins de Fer SNCF (Frankreich), SNCB (Belgien) und Renfe (Spanien).

EcoTransIT identifiziert die Auswirkungen des Güterverkehrs in Bezug auf den direkten Energieverbrauch und die Emissionen beim Betrieb von Fahrzeugen zum Transport von Gütern. Die Berechnungen beziehen aber auch den indirekten Energieverbrauch und die indirekten Emissionen

mit ein, die bei Erzeugung, Transport und Verteilung der Energie anfallen. Länderspezifische Gegebenheiten bei der Energieerzeugung werden genau so berücksichtigt wie die Topographie der Transportstrecke oder die unterschiedlichen technischen Standards der Fahrzeuge.

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen werden in Form von Diagrammen dargestellt. Darin werden Energieverbrauch und Emissionen der verschiedenen Umweltschadstoffe miteinander verglichen und es wird zwischen den ausgewählten Verkehrsmitteln unterschieden. So kann der Benutzer auf einfache Weise die Routen und das Verkehrsmittel mit den geringsten ökologischen Auswirkungen auswählen.

Das Tool ist kostenfrei online nutzbar und findet sich unter <http://www.ecotransit.org>.

Aus der unten stehenden Tabelle sind der Energieverbrauch, der Ausstoß von Kohlendioxid und die Entfernungskilometer für Fahrten von den wichtigsten Fundstellen nach Karlsruhe ersichtlich. Energieverbrauch und Ausstoß umfassen Well-to-Tank plus Tank-to-Wheel (Ursprung der Energiequelle bis zum Fahrzeug plus Fahrzeug bis zu den Rädern). Die Angaben beziehen sich auf jeweils 100 Tonnen Massengut.

Es sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- Das günstigste Verkehrsmittel ist der Zug.
- Die drei Fundstellen mit den besten ökologischen Transportwerten sind die Ligurische Küste, Murcia und Almeria.

Tabelle 16: Ökologische Transportwege

von	LKW			Zug			Seeschiff und LKW		
	Energie- verbrauch	Kohlen- dioxid	Ent- fernung	Energie- verbrauch	Kohlen- dioxid	Ent- fernung	Energie- verbrauch	Kohlen- dioxid	Ent- fernung
	kWh	to	km	kWh	to	km	kWh	to	km
[ES] Almeria	63.232	14,38	2.041	24.439	2,28	2.348	26.014	6,13	3.311
[ES] Cartagena	47.952	10,91	1.846	17.616	1,36	1.908	27.577	6,40	3.480
[IT] Genua	17.325	3,95	664	4.913	0,82	676	32.012	7,53	4.610
[IT] Cagliari	--	--	--	13.288	2,62	1.086	31.039	7,30	4.391
[AL] Dürres	42.276	9,62	1.610	15.185	2,67	1.852	35.582	8,39	5.542
[GR] Kalamata	68.870	15,66	2.632	24.580	4,68	2.709	35.705	8,33	5.549

2.7.1.3 Erstellen von Beurteilungskriterien für die Auswahl von Logistikdienstleistern

Logistik umfasst alle Aufgaben der Planung, Koordination, Durchführung und Kontrolle des Transportierens, Umschlagens/Kommissionierens und Lagerns von Gütern sowie der güterbezogenen Informationen.

Logistikdienstleister werden anhand ihrer Leistungen (operative, koordinierende, strategische) und anhand der Nutzung von Anlagegütern (Logistik-Assets) unterschieden. Die Anbieter (Service Provider) werden nach der Anzahl der Logistik-Beteiligten (Party Logistics) gegliedert in

- First Party Logistics Service Provider (1PL)
Waren- und Informationsfluss übernimmt das produzierenden Unternehmen (Warenfluss = Transport, Umschlag, Lagerung).
- Second Party Logistics Service Provider (2PL)
Warenfluss übernimmt ein Externer (z.B. Spediteur), der eigene Logistik-Assets besitzt und nutzt. Der Informationsfluss übernimmt das produzierende Unternehmen.
- Third Party Logistics Service Provider (3PL)
Waren- und Informationsfluss sowie teilweise Finanz- und Informationsdienstleistungen werden von einem Externen übernommen. Er besitzt und nutzt keine Logistik-Assets.

- Fourth Party Logistics Service Provider (4PL)
Waren- und Informationsfluss werden zwischen Kunden und anderen Logistikdienstleistern koordiniert und organisiert. Sie besitzen und nutzen keine eigenen Assets.
- Fifth Party Logistics Service Provider (5PL)
Planung und Management der Lieferkette (Supply Chain) und Koordination der Zusammenarbeit von Lieferanten, Händlern, Logistikdienstleistern und Kunden (auch Lead Logistics Provider genannt).

Als Logistikpartner der Neptu GmbH kommen Dienstleister in Frage

- der Gruppe 2PL oder 3PL
- AEO-zertifiziert
Im Rahmen der europaweiten Zollabfertigung gelten Unternehmen, denen der Status eines zugelassenen Wirtschaftsbeteiligten (Authorised Economic Operator) verliehen wurde, als besonders vertrauenswürdig und zuverlässig.
- mit Niederlassungen in den Ländern Italien, Spanien, Albanien und Griechenland, wünschenswert auch Tunesien
- mit eigenen Logistik-Assets für Lagerung und Transport der Bälle
- mit eigener Zollabfertigung (Kenntnis der Ausfuhr- oder Einfuhrbestimmungen)
- mit Deutscher Sprachkompetenz des Personals

Weitere Kriterien bei der Auswahl sind:

- Technische Rahmenbedingungen
Transportfrequenz , -tonnage, -volumen und -verpackung
- Kommerzielle Rahmenbedingungen
Preisgestaltung und Endpreis, CIP oder CPT (Carriage Insurance Paid oder Carriage Paid To), DDP Karlsruhe (Delivered Duty Paid)
- Rechtliche Rahmenbedingungen
Nach welchem Recht wird gearbeitet? Wo wird der Gerichtsstand sein?
- Service Level Agreements
Transportzeiten, Notfallpläne für Transportausfälle, technische und ökologische Qualität der Transportmittel
- Image des Dienstleisters
Referenzkunden, Größe des Unternehmens

2.7.1.4 Standorte und Funktionsweisen der Zwischenlager

Neptunbälle sind Naturprodukte und kommen, wie die Befragung das in den verschiedenen Ländern ergeben hat, jahreszeitlich unterschiedlich vor. Die Nachfrage nach Dämmmaterialien ist jahreszeitlich ebenfalls unterschiedlich hoch. In den Wintermonaten wahrscheinlich am niedrigsten.

Damit dienen die zu definierenden Lager dazu, die unterschiedlichen Mengenströme in der Rohstoffversorgung und im Absatz auszugleichen.

Der Wertschöpfungsprozess der NeptuTherm sieht wie folgt aus:

- Einsammeln der Neptunbälle
- Einlagerung der Bälle in dezentrale Rohstofflager
- Transport zwischen dezentralen Rohstofflagern und dem Produktionslager
- Einlagerung der Bälle in das Produktionslager
- Produktion der Wolle
- Einlagerung der Wolle in das Fertiglager
- Verkauf
- Transport der Wolle zum Kunden

2.7.1.4.1 Fertiglager

In der Annahme, dass

- das Produktionslager das Volumen eines Transportcontainers 40' High Cube (Innenmaße $L \times B \times H = 12,03 \times 2,34 \times 2,65$) aufnimmt und
- der Transport von den dezentralen Rohstofflagern bis zum Produktionslager unter Berücksichtigung von Zeitreserven 5 Arbeitstage dauert,

muss das Fertiglager eine Größe von 360 Verpackungssäcken mit dem Gewicht von 22 kg je Sack aufweisen.

Dies entspricht auf Basis der Produktionsmessung vom 21.03.2011 durch das Fraunhofer ICT einer Wochenproduktion im Einschichtbetrieb (12 Säcke pro Stunde x 6 Stunden Produktion pro Arbeitstag x 5 Arbeitstage = 360 Säcke). Es werden pro Tag 2 Stunden für die Beseitigung von Störungen, für Reinigung der Anlagen und weitere Nebentätigkeiten angesetzt.

Der Mindestlagerbestand, also der Lagerbestand bei dem der nächste Transport ausgelöst werden muss, liegt bei 180 Säcken. Damit ist ein gleichmäßiger Abverkauf möglich.

2.7.1.4.2 Produktionslager

Das Produktionslager in der Größe eines 40' High Cube-Containers sollte 1.500 Säcke Neptunbälle umfassen.

Die Produktionsmessung des ICT hat ergeben, dass im Durchschnitt für die Herstellung von 12 Säcken Neptunwolle 44 Säcke Neptunbällen erforderlich sind (44 Säcke pro Stunde x 6 Stunden Produktion pro Arbeitstag x 5 Arbeitstage = 1.320 Säcke). Ca. alle 8 Wochen ($1500 / (1.500 - 1.320) = 8,3$) könnte rechnerisch auf eine Container-Lieferung verzichtet werden.

2.7.1.4.3 Dezentrale Rohstofflager

Bei der Standortwahl für die dezentralen Rohstofflager sollten folgende Kriterien maßgebend sein:

- Nähe zu den Rohstoffvorkommen
Almeria, Murcia, Ligurische Küste, Sardinien, Vlora, Thessaloniki
- Ökologie des Transportweges
Almeria, Cartagena, Genua, Cagliari, Dürres, Kalamata
- Niederlassung des Logistikdienstleisters 2PL
Schüttgutlager (Silo) sollte geprüft werden
- Streuung der Länderisiken

Spanien, Italien, Albanien, Griechenland

2.7.2 Konzeption Markteinführung

2.7.2.1 Segmentierung des Gesamtmarktes

2.7.2.1.1 Marktpotential

Im Jahr 2009 wurden in Deutschland 27 Mio. Kubikmeter Dämmstoffe zur Schall- und Wärmedämmung verbaut. Die Marktanteile nach Dämmstoffgruppen in den Jahren 2006, 2009 und 2012 (Prognose) sind aus den folgenden Grafiken ersichtlich (Quelle: B+L Marktdaten, Bonn)

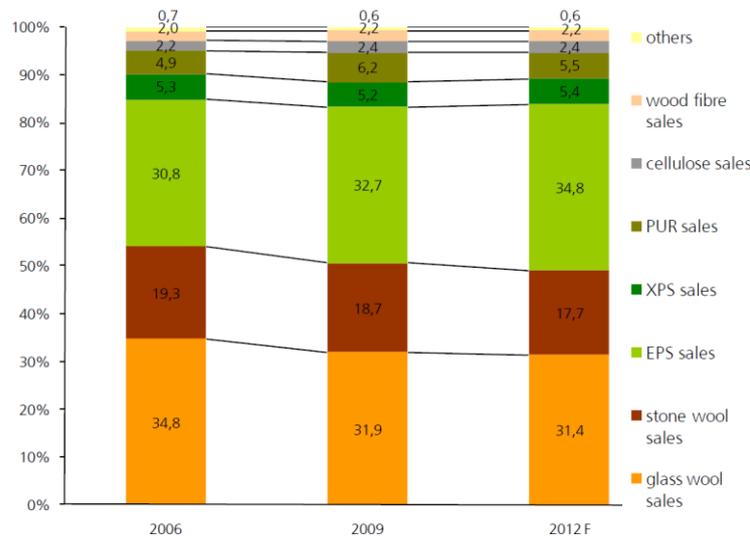


Abbildung 84: Marktanteile Dämmstoffe in Deutschland

Der Gesamtmarkt wird sich laut Prognose der B+L Marktdaten um ca. 19 % auf insgesamt 32 Mio. Kubikmeter erhöhen. Dabei wird die Absatzentwicklung für die Neubauanwendungen zurückgehen und bei den Renovierungsanwendungen stark ansteigen.

Begründet ist der Rückgang der Neubauanwendungen im Wesentlichen mit einem Rückgang der Baugenehmigungen und der Anstieg der Renovierungsanwendungen durch Energieeinsparmassnahmen aufgrund des Energieausweises und der Energieeinsparverordnung (EnEv).

Fasst man die Segmente Zellulose, Holzweichfaser und sonstige (Hanf, Flachs, HWL = Holzwohle-Leichtbauplatten) zusammen, kommt man in 2009 auf einen Gesamtmarkt für nachwachsende Dämmstoffe in Höhe von 1.420.000m³ (= 5,3% des Gesamtmarktes). Dieser Anteil soll bis 2012 auf 1.690.00 m³ = 19% anwachsen.

2.7.2.1.2 Abnehmergruppen

2.7.2.1.2.1 Psychographische Segmentierung

Die psychographische Marktsegmentierung ist eine Aufteilung des Gesamtmarktes nach Persönlichkeitsmerkmalen. Hierzu werden die sogenannten Sinus-Milieus herangezogen.

Diese Milieus, genannt nach dem Marktforschungsinstitut Sinus Sociovision GmbH, sind das Ergebnis von 30 Jahren sozialwissenschaftlicher Forschung. Die Zielgruppenbestimmung orientiert sich an der Lebensweltanalyse unserer Gesellschaft. Die Sinus-Milieus gruppieren Menschen, die sich in ihrer Lebensauffassung und Lebensweise ähneln. Grundlegende Wertorientierungen gehen dabei ebenso in die Analyse ein wie Alltagseinstellungen zur Arbeit, zur Familie, zur Freizeit, zu Geld und Konsum.

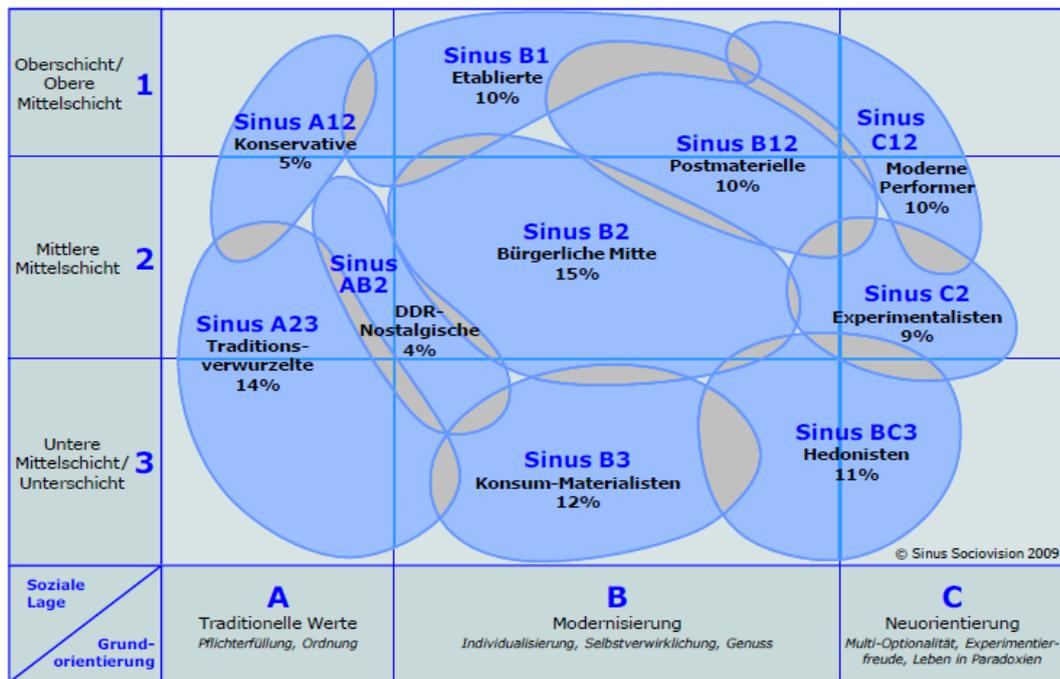


Abbildung 85: Sinusmileus

Die Zielgruppe der NeptuTherm muss

- über Immobilien verfügen und
- bereit und in der Lage sein, für eine bessere Ökobilanz mehr Geld auszugeben.

Hierfür prädestiniert sind nach den Sinus-Milieus die Postmateriellen (B12).

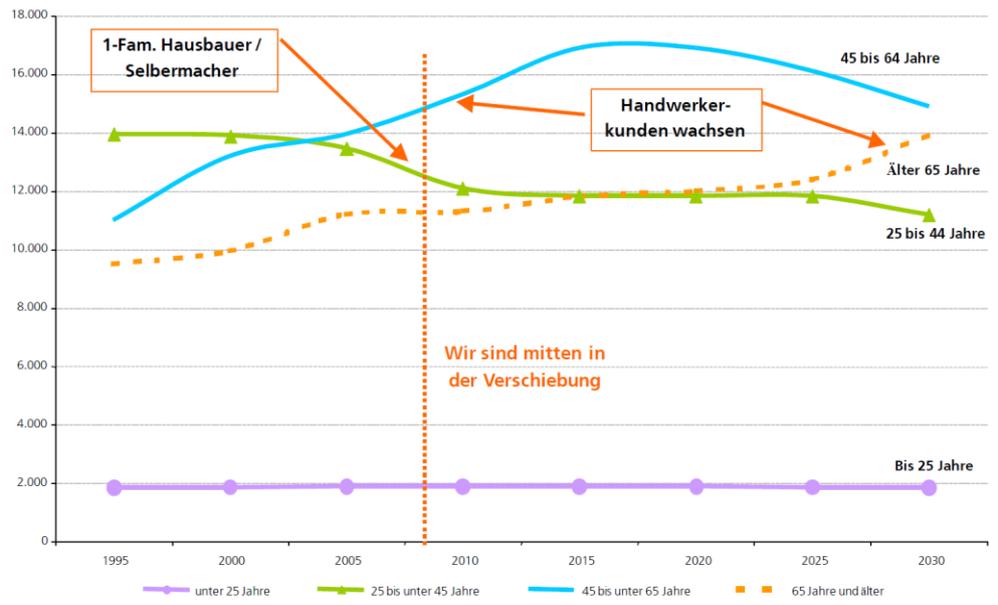
Die Postmateriellen sind kritische Intellektuelle aus der Mittel- und Oberschicht mit entsprechenden finanziellen Ressourcen. Sie zeichnen sich durch ihr ausgeprägtes Bewusstsein für soziale Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit aus. Sie pflegen eine tolerante und kosmopolitische Grundeinstellung und haben vielfältige, meist kulturelle Interessen und ein hohes Informationsbedürfnis.

Postmaterielle sind bereit, für sozial und ökologisch verträgliche Produkte mehr zu bezahlen. Diese Tatsache ist allgemein gut untersucht.

2.7.2.1.2.2 Demographische Segmentierung

Betrachtet man die Veränderung der deutschen Haushalte nach dem Alter der Haushaltsvorstände wird folgende Entwicklung prognostiziert:

- Die Haushalte mit einem Haushaltsvorstand bis zu 25 Jahren bleibt gleich (nicht relevant für NeptuTherm)
- Die Haushalte mit einem Haushaltsvorstand zwischen 25 und 44 Jahre nimmt ab und stagniert ab dem Jahr 2015 für die folgenden zehn Jahre (relevant für NeptuTherm, weil das die Hausbauer-Generation ist)
- Die Haushalte mit einem Haushaltsvorstand zwischen 45 bis 64 Jahre nimmt bis zum Jahr 2015 zu und wird danach kontinuierlich abnehmen (relevant für NeptuTherm, weil das die Renovierer sind und sie hierfür Handwerkerleistungen in Anspruch nehmen)
- Die Haushalte mit einem Haushaltsvorstand älter 65 Jahre nimmt bis 2020 geringfügig zu, danach mit großen Steigerungsraten (relevant für NeptuTherm, weil diese bei Renovierungen ebenfalls verstärkt Handwerkerleistungen nachfragen)



Quelle: BBR, Grafik B+L Marktdaten, Bonn (Status: 08/2010)

Abbildung 86: Demografische Entwicklung von Haushaltsvorständen

2.7.2.1.3 Zielmarktbestimmung

2.7.2.1.3.1 Geographisch

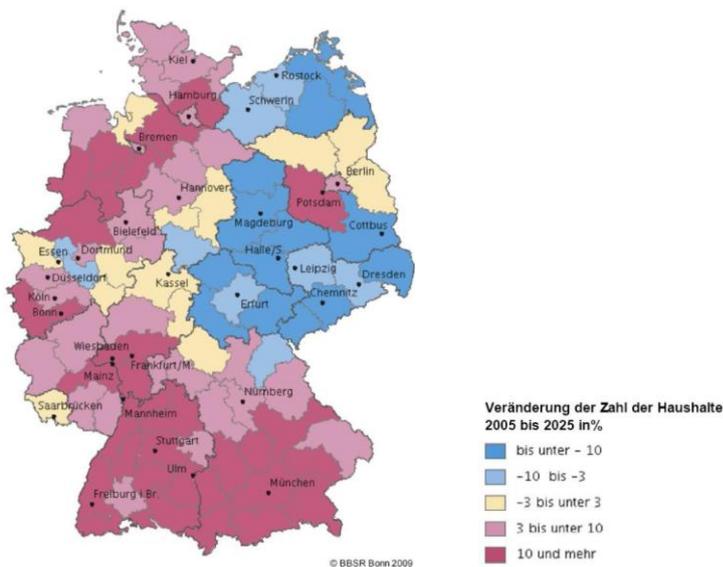


Abbildung 87: Geografische Zielmarktbestimmung

Die Nachfrage nach Dämmstoffen ist grundsätzlich abhängig von den Baugenehmigungen und der Renovierungsentwicklung.

Beide Treiber sind wiederum abhängig von der Anzahl der Haushalte und insbesondere von der Bevölkerungsverschiebung. Je größer also die Veränderung der Zahl der Haushalte umso größer die Nachfrage nach Dämmstoffen in den Bundesländern, Stadt- und Landkreisen.

Abbildung 87 zeigt die BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) Prognose für die Bevölkerungsverschiebung in den 20 Jahren von 2005 bis 2025.

Baden-Württemberg und Teile von Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz sind demnach die interessantesten Marktgebiete in Süd- und Südwestdeutschland.

2.7.2.1.3.2 Anwendungsspezifisch

Das Anwendungssegment Fassade wird aufgrund der neuen Energieeinsparverordnung deutlich hinzugewinnen. Demzufolge soll der Energiebedarf bei Außenwänden um 30% verbessert werden. Diese verordnete Senkung des Energiebedarfes, finanzielle Anreize durch Breitenförderungsprogramme (z.B. KfW-Programme) und nicht zuletzt das Konjunkturpaket II treiben den Markt für Fassadendämmung voran.

Auch das Anwendungssegment Dach zeigt eine starke Dynamik, getrieben von einer höheren Investitionsbereitschaft im privaten Wohnungsbau.

Im Segment Flachdach muss mit einem Rückgang aufgrund des schwachen Industriebaus in 2009 ausgegangen werden.

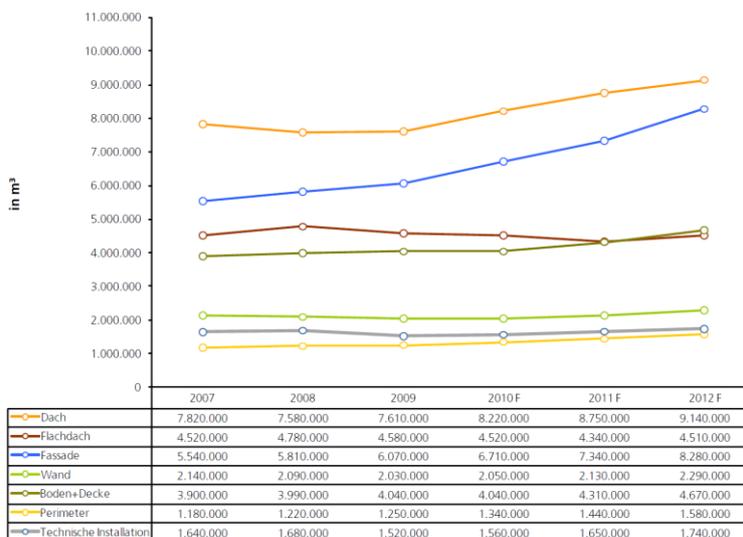


Abbildung 88: Anwendungsspezifische Zielmarktbestimmung

2.7.2.1.4 Zusammenfassung

Die ideale Zielgruppe der NeptuTherm kann wie folgt umschrieben werden:

Personen aus dem sozialökologische Milieu im Alter von 45+ aus Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz, die im Rahmen von Gebäuderenovierungen Wärmedämmmaßnahmen für Fassade und Dach in Angriff und hierfür Handwerkerleistungen (Dachdecker, Zimmerer) in Anspruch nehmen.

Die Gruppe der 1-Familien-Hausbauer-Selbstermacher sollte nicht vergessen, aber auch nicht überschätzt werden.

2.7.2.2 Wettbewerbsanalysen

Einen Überblick über Wettbewerbsprodukte und Wettbewerbsunternehmen erhält man bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) Die Webseite lautet: www.naturbaustoffe.info/daemmstoffe/materialien.

Die Produktbeschreibungen auf dieser Webseite umfassen den Rohstoff, die Herstellung, die Zusammensetzung, die Eigenschaften, die Verwendung, die Verarbeitung, den Rückbau und die Entsorgungsmöglichkeiten sowie die technischen Daten.

Insgesamt wurden 37 Wettbewerbsunternehmen aus den Segmenten der nachwachsenden Rohstoffe (Flachs, Hanf, Hobelspäne, Holzfasern, Kork, Strohballen, Wiesengras und Zellulose) analysiert. Sofern möglich auch die veröffentlichten Jahresabschlüsse.

Von den Wettbewerbsunternehmen wurden drei als Benchmark ausgewählt. Benchmarkunternehmen sind solche, mit denen sich die NeptuTherm hinsichtlich Marktauftritt, Organisation und betriebswirtschaftlichen Kennzahlen vergleichen möchte.

Es sind diese aus dem Bereich

- Hanf Hock GmbH & Co. KG www.thermo-hanf.de
- Holzfasern STEICO AG www.steico.de
- Zellulose isofloc Wärmedämmtechnik GmbH www.isofloc.de

2.7.2.3 Produktpolitik

Dämmstoffe werden hinsichtlich ihrer Lieferform in Matten, Platten und Schüttungen angeboten. Bei den Schüttungen wird zusätzlich unterschieden, ob diese manuell oder maschinell erfolgen. Man spricht von Einfüllen/Stopfen bei der manuellen und von Einblasen bei der maschinellen Schüttung.

NeptuTherm soll wie folgt verfügbar werden als Wolle zum Einfüllen/Stopfen, als Wolle zum Einblasen und als vorkonfektionierten, zuschneidbaren Matten.

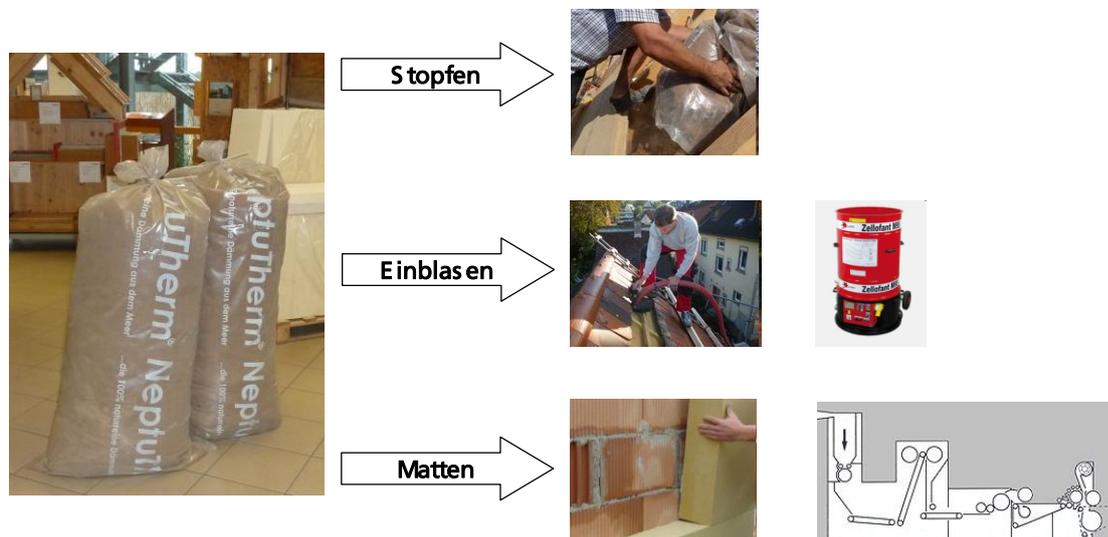


Abbildung 89: Produktpolitik

Eine weitere Verfeinerung und Vertiefung der Produktpolitik muss auf Basis der oben beschriebenen Ergebnisse der Arbeitspakete 1, 2 und 4 erfolgen.

2.7.2.4 Preispolitik

NeptuTherm ist im Dämmstoffmarkt ein Nischenprodukt und in die Entscheider der Endverbraucher-Zielgruppe stammen aus der Mittel- und Oberschicht mit entsprechenden finanziellen Ressourcen (postmaterielles Milieu).

Somit ist NeptuTherm im höherpreisigen Segment angesiedelt.

In der Anlaufphase wird die Preisgestaltung kostenorientiert sein, muss sich aber im Laufe der Jahre zur Wettbewerbsorientierung hin entwickeln und sich an den Verkaufspreisen der unter 2.7.2.3 genannten Benchmarkunternehmen orientieren.

Für den Endverbraucher sind zwei Preislagen vorhanden:

- NeptuTherm®-S = schweres, einfach gesiebtes Material und
- NeptuTherm®-L = leichtes, doppelt gesiebtes Material.

Für Fachbetriebe und Wiederverkäufer wird der Preis auf Anfrage kalkuliert, weil hier im Regelfall grössere Volumina anfallen.

Für die Verpackung der Wolle in Polyätylensäcken mit einem Inhalt von 22 kg wurde ein Pfandsystem eingerichtet. Pro Sack wird ein Pfand von 3,00 EUR erhoben.

2.7.2.5 Distributionspolitik

Laut Marktstudie der B+L Marktdaten GmbH hat sich im Jahr 2009 die Distribution von Dämmstoffen wie folgt verteilt:

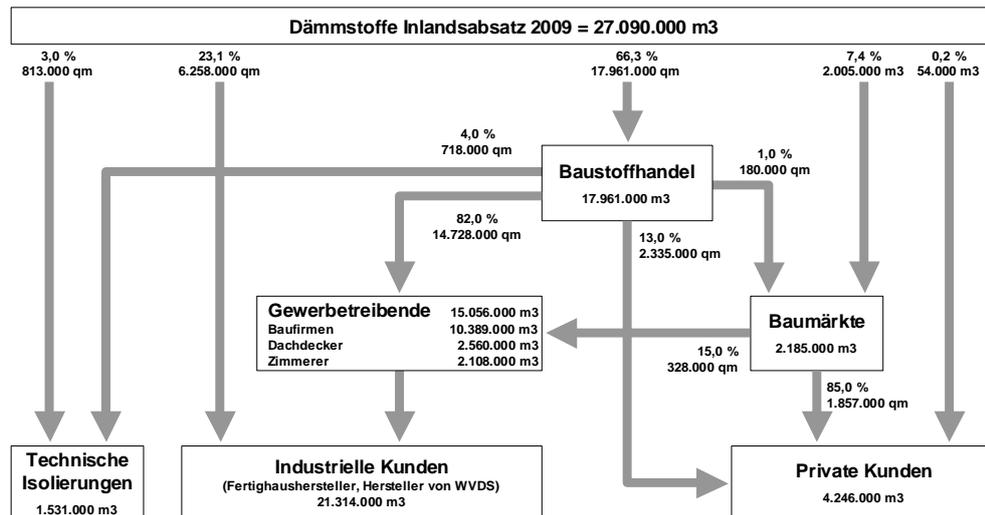


Abbildung 90: Distributionswege

Für den Bereich der **Renovierung** mit den privaten Kunden als Endkunden ist für die Distribution über den Baustoffhandel und über Baumärkte und in einem geringen Umfang der Direktvertrieb aufzubauen. Bevorzugt wären Fachmärkte für Naturbaustoffe.

Der Bundesverband Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V. hat bundesweit knapp 900 Mitgliedsfirmen mit insgesamt ca. 2.200 Betriebsstätten, die rund 41.000 Mitarbeiter beschäftigen⁷. Eine Reihe von Mitgliedsfirmen hat sich zur "Initiative Fachhandel für Naturbaustoffe im BDB" zusammengeschlossen. Die Adressen dieser Mitgliedsfirmen sind unter ⁸ zu finden. Diese Unternehmen befassen sich schon seit Jahren mit dem Verkauf ökologischer und natürlicher Baustoffe.

Im Bereich des **Neubaus** durch Fertighaushersteller ist der Direktvertrieb zu empfehlen. Bevorzugt sind die Holzfertigbauhersteller.

Auf der Homepage des DHV-Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V.⁹ sind Holzfertigbaubetriebe aufgeführt.

2.7.2.6 Kommunikationspolitik

Die Marktkommunikation hat zur Aufgabe, den unterschiedlichen Zielgruppen (Postmaterielle private Endkunden, Holzfertigbauhersteller, Distributionspartner, Handwerker) das Nutzenversprechen des Unternehmens zu vermitteln. Dabei ist der Lebenszyklus der Kundenbeziehung zu berücksichtigen.

⁷ <http://www.bdb-bfh.de>

⁸ <http://www.fachhandel-naturbaustoffe.de>

⁹ <http://www.holzfertigbauverband.de/>

Idealtypisch kann man drei Zyklen unterscheiden: Kundenakquisition, Kundenbindung und Kundenrückgewinnung. NeptuTherm befindet sich in der schwierigen Phase der Gewinnung neuer Kunden. Diese Phase umfasst die

- **Anbahnungsphase**
(Der Kunde informiert sich über die Produkte. NeptuTherm muss Maßnahmen ergreifen.)
- **Sozialisierungsphase**
(Der Kunde sammelt erste Erfahrungen über Preis, Leistung und Qualität. NeptuTherm gewinnt erste Informationen, die zum Aufbau einer Kundenbeziehung benötigt werden.)

Aus dem umfangreichen Instrumentenkasten der Marktkommunikation wurden folgende für die **Anbahnungsphase** ausgewählt (fett gedruckt):

Werbung	Internetwerbung , Kinowerbung, Fahrzeugwerbung , Anzeigenwerbung , Direktwerbung / Mailings, Leuchtreklame, Radio-/Fernsehwerbung, Werbeplakate, Werbeprospekte, Werbebanner , Werbebroschüren, POS-Werbung , Werbeflyer , Werbegeschenke / Giveaways
Geschäftskorrespondenz	Geschäftsbriefe , E-Mail , Geschäftsessen, Visitenkarten , Telefongespräche, Warteschleifen, Gelbe Seiten
Kundenbetreuung	Kundendienst, Reklamationswesen, Servicehotlines / Call Center, Telefonansagen, Verkaufsgespräch, Marktforschung
Verkauf / Vertrieb	Verkaufsförderung, Verkaufsraumausstattung, Verkaufsendungen, Messen und Ausstellungen , Firmenfahrzeuge, Firmengebäude
Produkte / Marken	Product Placement; Produktdesign; Verpackungsdesign ; Markenwelten
PR	Pressemitteilungen , Wirtschaftsmagazine , Fachzeitschriften , Rundfunk , Fernsehen

Einen Eindruck zum Marktauftritt und zur Marktkommunikation findet man unter auf der Homepage der Firma Neptutherm¹⁰.

2.7.3 Ökobilanz (ICT)

Die ausführliche Betrachtung der Ökobilanzierung findet sich in einem gesonderten Bericht¹¹.

Die Lebenszyklusanalyse und Ökobilanzierung wurde gemäß DIN EN ISO 14040¹² durchgeführt. Hiernach gliedert sich die Erstellung einer Ökobilanz in vier Phasen:

Phase 1: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen: funktionale Einheit; Produkt-System und Systemgrenze.

¹⁰ <http://www.neptutherm.com/phpwcm/index.php>

¹¹ Nioac de Salles, Ana Claudia: Bericht Ökobilanzierung

¹² ISO 14040 (1997) Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principal and Framework, International Standard ISO 14040:1997.

Phase 2: Sachbilanz (LCI): Identifikation des Ressourcenverbrauches und Datensammlung (*Inputs*); Verwendung der *GaBi software* für die Berechnung; Berechnung der Emissionen in Luft, Boden und Wasser (*Outputs*).

Phase 2: Wirkungsabschätzung (LCIA): Klassifizierung der Inputs und Outputs in Umweltkategorien (z. B. Treibhauseffekt, Humantoxizität)

Phase 4: Auswertung: Identifikation der signifikanten Inputs und Outputs. Szenarioanalyse (Lebenszeit, Klimaneutralität und Systemgrenze – Verbrennung und Energierückgewinnung).

2.7.3.1 Phase 1: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen

Funktionale Einheit:

Eigentliches Ziel ist es, ein Umweltprofil für den Einsatz von Posidoniafasern als Dämmstoff für Gebäude zu erstellen. Im speziellen soll dabei auf den Beitrag zur globalen Erwärmung und den Verbrauch an Energie eingegangen werden. Dazu wurde jeder Schritt des Lebenszyklus, „von der Wiege bis zur Bahre“ beleuchtet und bewertet.

Der zugrunde liegenden DIN EN ISO 14040 folgend, dient die funktionelle Einheit der Quantifizierung der Leistungskennwerte des Produktes. Weiterhin schafft diese Einheit einen Bezug zu Input- und Outputflüssen, und kann somit als Vergleichsgröße mit anderen Systemen herangezogen werden.

Für den Dämmstoff Posidonia wird die funktionelle Einheit (F.U.) definiert als Masse an Isolationsmaterial, welche benötigt wird um über 50 Jahre einen thermischen Widerstand von $1\text{m}^2\text{K/W}$ zu gewährleisten. Ein Maß also für die Isolationsfähigkeit. Diese Definition folgt einem Vorschlag des CEPMC (Council of European Producers of Materials for Construction) aus dem Jahr 2000, und ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit und der entsprechenden Dichte des zu verbauenden Materials.

$$\text{F.U.} = R \times \lambda \times \rho \times A$$

Dabei entspricht R dem thermischen Widerstand von $1\text{m}^2\text{K/W}$; λ dem Messwert der Wärmeleitfähigkeit in $\text{W}/(\text{mK})$; ρ der Dichte des Dämmmaterials im Produkt in kg/m^3 und A der Fläche von 1m^2 .

Als Wert für die Wärmeleitfähigkeit wurde gemäß der ersten Zulassungsprüfung auf $49\text{mW}/\text{mK}$ festgelegt. Für die Einbaudichte wurde zunächst ein Wert von $100\text{kg}/\text{m}^3$ angenommen. Gegen Ende der Projektlaufzeit hat sich herausgestellt, dass sich die Einbaudichte setzungssicher auf $70\text{kg}/\text{m}^3$ reduzieren lässt. Daher werden folgende zwei Werte berücksichtigt:

$$\text{F.U.} = 1 \times 0,049 \times 100 \times 1 = 4,9 \text{ kg}$$

$$\text{F.U.} = 1 \times 0,049 \times 70 \times 1 = 3,43 \text{ kg}$$

Demnach ist die funktionale Einheit zur Gewährleistung eines thermischen Widerstandes von $1\text{m}^2\text{K/W}$ über einen Zeitraum von 50 Jahren $4,9$ bzw. $3,43\text{kg}$.

Produktsystem und Systemgrenze:

Unter Produktsystem versteht man die Gesamtheit aller Verfahrensschritte sowie Zwischenprodukte die zum Entstehen des Produktes notwendig sind.

Der Untersuchungsrahmen hingegen charakterisiert jene Verfahrensschritte und Aspekte des Produktsystems welches näher untersucht und im Modell erfasst werden sollen. Dabei kommen der Stoff- und Energiestrom (Input) sowie Emissionen an die Umwelt (Output) zum Tragen.

Bezugnehmend auf die Daten und Informationen welche von den Projektpartnern (NeptuTherm, X-Floc und Fiber Engineering) zu Verfügung gestellt wurden, lassen sich die Prozessschritte wie folgt zusammenfassen:

- Sammeln – der Posidoniabälle (Rohmaterial) am Strand in Sousse in Tunesien, ohne Maschinen, also händisch
- Transport – des Containers von Tunis (Tunesien) per Schiff nach Barcelona (Spanien), anschließend von Barcelona nach Zeebrügge (Belgien) und weiter nach Karlsruhe, Hafen (Deutschland); anschließend erfolgt der Weitertransport zum verarbeitenden Betrieb in Karlsruhe per LKW. In diesem Schritt fallen Diesel und Schweröl für den Antrieb von LKW und Schiff an.
- Herstellen der Fasern – es wird elektrische Energie benötigt. Desweiteren fallen Sand, Salz und Polypropylen-Verpackungsmaterial als Reststoffe an. Sand und Salz werden deponiert, die PP-Folie in einer Müllverbrennungsanlage energetisch verwertet.
- Transport zum Einbau – per LKW. Hierzu wird Dieselmotorkraftstoff benötigt.
- Installation – des Fasermaterials in den Gebäuden. Die Einblasmaschine benötigt elektrische Energie. Es wird angenommen, dass 25 % des PE-Verpackungsmaterials zum Faserhersteller zurückgeschickt werden, der Rest wird werkstofflich verwertet.
- Transport – der Reststoffe zu Deponie, Müllverbrennung und Verwertung bedürfen ebenfalls Dieselmotorkraftstoff zum Betrieb der LKW.
- Lebensende – der Fasern. Hier wird davon ausgegangen, dass die Fasern beim Ausbau aufgefangen und weiter genutzt werden.

Für das Produktsystem kommen dennoch verschiedene Variationspunkte in Frage. So ist das Sammeln von Posidoniabällen auch in anderen Mittelmeeranrainerstaaten wie Italien oder Albanien geplant. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit das Isolationsmaterial per Hand einzubauen, wodurch keine Energie für die Einblasmaschine benötigt wird.

Weiterhin ist es denkbar, das Verpackungsmaterial (PE, 300g) durch leichteres (PP, 2g) zu ersetzen. Diese Möglichkeit wurde allerdings hier nicht betrachtet. Außer Acht gelassen wurden ebenso die Produktionsabfälle bei der Aufbereitung, da zum einen verhältnismäßig wenig Fasern als Ausschuss anfallen und zum anderen das Aufbereitungsverfahren noch in der Entwicklung ist. Ebenso blieben aufgrund fehlender Erfahrungen die Parameter der Nutzung und Instandhaltung unbeachtet. Zur Entsorgung der Fasern nach 50 Jahren Nutzung kann ebenfalls keine stichhaltige Aussage getroffen werden. Mit Bestimmtheit lässt sich jedoch zusammenfassen dass mehrere Szenarios für die CO₂ - neutralen Fasern denkbar sind.

Um alle In- und Outputs zu erfassen und zu bilanzieren wurde die GaBi- Software (Ganzheitliche Bilanzierung) genutzt. Das ICT besitzt für die Version 4 eine dauerhafte Lizenz. GaBi ist konzipiert für Berechnungen zu Treibhausgasen, Umweltdesign, Energie-Ressourceneffizienz, Eckpunkten der Nachhaltigkeit, Firmen-Ökobilanzen und Lebenszykluskosten.

2.7.3.2 Phase 2: Sachbilanz (LCI):

In dieser Phase werden sämtliche Inputs und Outputs während des gesamten Lebenszyklus der Posidonia-Faser erfasst und zusammengestellt.

Abbildung 91 gibt einen Überblick über das in Phase 1 beschriebene Basisszenario. Die Ergebnisse der Datenerfassung für 1 Container, 1 kg Posidonia Fasern bzw. für die funktionelle Einheit

von 4,9 kg sind in Tabelle 17 zusammengestellt. Dabei beinhaltet 1 Container 76 m³ oder 11.121 kg Posidonia-Bälle und die Dichte der Posidonia-Bälle beträgt ungefähr 146 kg/m³. Die Emissionen pro Container betragen 5.864 kg, davon sind 5.823 kg Luftemissionen und 41 kg Emissionen in Wasser.

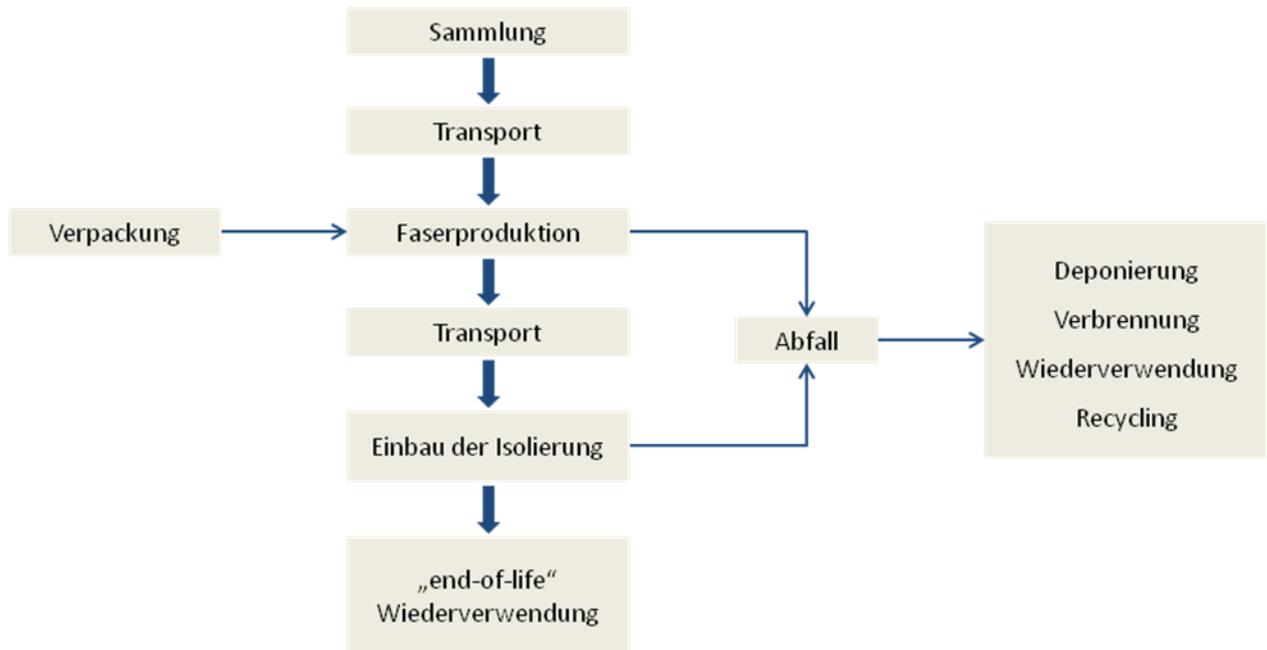


Abbildung 91: Flussdiagramm für das Basis-Szenario (von Tunesien nach Deutschland)

Tabelle 17: Ergebnisse der Datenerfassung

Parameter	Einheit	Total pro Container	Total pro kg Posidonia	Total pro F.E.
ENERGIEVERBRAUCH				
Energiequellen	MJ	36.500,40	3,28	16,08
nicht erneuerbare	MJ	35.626,31	3,20	15,70
erneuerbare	MJ	874,09	0,08	0,39
WASSERVERBRAUCH				
Wasser	kg	11.154,22	1	4,91
LUFTEMISSIONEN				
Kohlendioxid	g	1.862.274,38	167,45	820,51
Kohlendioxid (biol.)	g	31.759,09	2,86	13,99
Kohlenmonoxid	g	3.494,01	0,31	1,54
Schwefeldioxid	g	6.381,03	0,57	2,81
Stickoxide	g	15.767,11	1,42	6,95
Stickstoffdioxid	g	603,69	0,05	0,27
Methan	g	4.249,30	0,38	1,87
Flusssäure (HF)	g	1,63	0	0
Salzsäure (HCL)	g	18,79	0	0,01
Kohlenwasserstoffe (ohne CH4)	g	546,25	0,05	0,24
Ammoniak	g	6,59	0	0
Organische Emissionen (VOC)	g	6.288,85	0,57	2,77
Partikel	g	689,23	0,06	0,3
Schwermetalle	g	1,3	0	0
Dampf	g	1.720.285,15	154,68	31,57
Abluft	g	2.173.586,22	0,20	0,04
WASSEREMISSIONEN				
Biologischer Sauerstoffbedarf	g	8,47	0	0
Chemischer Sauerstoffbedarf	g	216,97	0,02	0,1
Feststoffe (gelöst)	g	11,66	0	0,01
Feststoffe (in Suspension)	g	875,95	0,08	0,39
Stickstoff	g	1,72	0	0
Stickstoff (organ. gebunden)	g	3,72	0	0
Phosphate	g	0,33	0	0
Organische Verbindungen (gelöst)	g	1,39	0	0
Natrium (+l)	g	385,66	0,03	0,17

2.7.3.3 Wirkungsabschätzung (LCIA):

Bei der Wirkungsabschätzung werden die Inputs und Outputs zusammengetragen und verschiedenen Umweltkategorien zugeordnet. Nach einer vorgeschriebenen Vorgehensweise erfolgt schrittweise eine Auswahl, Klassifizierung und Charakterisierung der anfallenden Daten. Für den Lebenszyklus der Posidonia Oceanica wurden die Daten folgenden Kategorien zugeordnet und bewertet:

- Treibhauspotenzial (kgCO₂-Äquivalente, Output)
- Versauerungspotenzial (kgSO₂-Äquivalente, Output)
- Eutrophierungspotenzial, (kgPO₄³⁻-Äquivalente, Output)
- Ozonbildungspotenzial, „Sommer-Smog" (kgC₂H₄-Äquivalente, Output)
- Energieverbrauch (MJ, Input)
- Wasserverbrauch (kg, Input)
- Erzeugung von Feststoffabfällen (kg, Output)

Es kann vorkommen, dass das einige Werte mehreren Kategorien zugeordnet werden können. So beeinflusst beispielsweise der NO_x die Kategorien Treibhausgasemission und Versauerungspotenzial. In diesem Fall werden die Werte für jede Kategorie in einen Indikatorwert umgewandelt, z. B. CO₂-Äquivalente. Eine Gewichtung dieser Indikatorwerte ist eine sehr subjektive Bewertung und wurde daher nicht durchgeführt. (McDougall et al., 2001).

In Tabelle 18 sind die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung in den einzelnen Umweltkategorien zusammengefasst. Für jede Kategorie ist dabei der Haupteintragsfaktor blau markiert.

Tabelle 18: Ergebnisse der Datenzuordnung zu den Umweltkategorien

Umweltrelevante Kategorie / 1 kg Posidonia	GE-SAMT	Logistik	Produktion PE Verpackung	Faser Produktion	Installation Isolationsmaterial	Recycling PE Verpackung	Deponierung Inert Material
Treibhauspotential (g CO ₂ e)	182,25	94,27 (52%)	26,29 (14%)	9,21 (5%)	36,73 (20%)	12,19 (7%)	2,80 (2%)
Versauerungspotenzial (g SO ₂ e)	1,61	1,37 (86%)	0,12 (8%)	0,02 (1%)	0,06 (4%)	0,00 (0%)	0,03 (2%)
Eutrophierungspotenzial (g PO ₄ ³⁻ e)	0,19	0,17 (91%)	0,01 (4%)	0,00 (1%)	0,00 (2%)	0,00 (0%)	0,01 (3%)
Photochemisches Ozonbildungspotenzial (g C ₂ H ₄ e)	0,13	0,10 (78%)	0,02 (12%)	0,00 (1%)	0,00 (3%)	0,00 (0%)	0,01 (6%)
Energieverbrauch (MJ)	3,28	1,40 (43%)	0,99 (30%)	0,16 (5%)	0,64 (19%)	0,06 (2%)	0,04 (1%)
Wasserverbrauch (kg)	1	0,02 (2%)	0,82 (82%)	0,03 (3%)	0,13 (13%)	0,00 (0%)	0,00 (0%)
Freisetzung Feststoffabfälle (kg)	0,2	0,00 (0%)	0,00 (0%)	0,20 (100%)	0,00 (0%)	0,00 (0%)	0,00 (0%)

Den größten Eintrag auf 5 der 7 Umweltkategorien beinhaltet die Logistik, d. h. der Transport des Materials aus dem Ursprungsland nach Karlsruhe. Daraus ergibt sich, dass die Art des Transports (Schiff, Zug, LKW) wahrscheinlich einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. In der Szenarioanalyse in Phase 4 wird dies berücksichtigt.

Anteile am Energieverbrauch haben neben der Logistik vor allem die Produktion der PE-Verpackungssäcke sowie der Betrieb der Einblasmaschinen für den maschinellen Einbau des Posidonia-Fasern in die Gebäude.

2.7.3.4 Phase 4: Auswertung:

In der letzten Phase der Ökobilanzierung erfolgt die Überprüfung, Bewertung und Interpretation der Ergebnisse aus Phase 2 und 3 anhand der in Phase 1 getroffenen Definitionen. Es wurde eine Szenarioanalyse und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die signifikanten Einflüsse auf das Ergebnis zu eruieren.

Szenarioanalyse

Das Basisszenario wurde in Phase 1 definiert. Für die verschiedenen Szenarien wird jeweils ein Prozessschritt aus dem Basisszenario variiert. Daraus lässt sich der Einfluss verschiedener Produktsysteme und Systemgrenzen auf die Umweltkategorien ermitteln.

Die Logistikphase bringt insgesamt betrachtet den größten Eintrag auf die CO₂-Emissionen. Politisch gesehen ist der CO₂-Fußabdruck einer der wichtigsten Indikatoren, der für Entscheidungen in den Bereichen nachhaltige Produktion und Verbrauch herangezogen wird¹³.

Anhand der Informationen von den Projektpartnern wurde betrachtet, welche Änderungen im Ergebnis verschiedene Annahmen für die Logistik, den Materialeinbau am Objekt und End-of-Life Betrachtungen erbringen.

Bezüglich der Logistik wurden neben dem Basisszenario der Transport von Livorno (Italien) nach Karlsruhe per Zug sowie der Transport von Durrës (Albanien) nach Triest per Schiff und anschließend per LKW nach Karlsruhe betrachtet (Szenario 1). Für den Fasereinbau wurde das maschinelle Einblasen mit dem händischen Stopfen verglichen (Szenario 2). Szenario 3 erfasst den Unterschied zwischen der Wiederverwendung der Posidonia-Fasern am Ende der Nutzungsphase im Gebäude und der Verbrennung. Die Verbrennung von Naturfaserdämmstoffen wird gemäß KNR¹⁴ und Ardente et al.¹⁵ bereits praktiziert. Da die Fasern bei der Verbrennung genau soviel CO₂ emittieren, wie sie während des Wachstums binden, wurden keine CO₂-Emissionen berücksichtigt. Als viertes Szenario wurden unterschiedliche Wiederverwendungsquoten der PE-Verpackungssäcke betrachtet. Für die nicht wiederverwendeten Säcke wurde angenommen, dass sie recycelt werden.

In Tabelle 19 sind die Treibhausgasemissionen für die verschiedenen Szenarien aufgelistet.

Tabelle 19: Ergebnisse der Szenarioanalyse für die Treibhausgasemissionen

Szenarien	Beschreibung	Treibhausgasemissionen (in gCO ₂ e/kg Posidonia)	
		Phase	Gesamt
Szenario 1 – Logistik	Tunesien	94,28 (52%)	182,25
	Italien	43,41 (33%)	131,39
	Albanien	135,91 (61%)	223,89
Szenario 2 – Installation	Maschine	36,73 (20%)	182,25
	Per Hand	0,00 (0%)	145,52
Szenario 3 – Fasern (End-of-Life)	Wiederverwendung	0,00 (0%)	182,25
	Verbrennung	34,38 (16%)	216,64
Szenario 4 – PE Verpackung (End-of-Life)	25% W / 75% Recycling	12,19 (7%)	182,25
	50% W / 50% Recycling	8,17 (5%)	178,23
	75% W / 25% Recycling	4,02 (2%)	174,08

¹³ EU (2007) Carbon Footprint - what it is and how to measure it. European Platform on Life Cycle Assessment European Commission. JRC, Institute for Environment and Sustainability.

¹⁴ KNR (2011) Kompetenzzentrum Bauen mit Nachhaltigen Rohstoffen. Verfügbar unter www.knr-muenster.de

¹⁵ Ardente, F. et al. (2008) Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation panel. Energy and Buildings 40, Elsevier, 1-10, ScienceDirect.

Die Transportwege von Tunesien und Albanien nach Karlsruhe per Schiff und LKW beinhalten einen hohen Treibstoffverbrauch und verursachen damit hohe Treibhausgasemissionen. Der Transport von Italien per Zug ist, wie zu erwarten war, die günstigste Variante im Bezug auf Energieverbrauch, Versauerungs- und Treibhauspotenzial.

In Szenario 2 zeigt sich der Einfluss der Einblasmachine auf die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Einbau von Hand. Beim Einbau von Hand werden die Treibhausgasemissionen um 20% verringert. Unter Berücksichtigung, wie der Strom im deutschen Energieversorgungsnetz produziert wird, reduziert sich in Folge auch der Wasserverbrauch um 44%.

Der Effekt, der durch eine Erhöhung der Wiederverwendungsquote auf 75% anstelle der 25% des Basisszenarios erreicht werden kann, ist vergleichsweise gering. Durch diese Maßnahme lassen sich lediglich 8,2 gCO₂e pro kg produzierter Fasern einsparen.

Sensitivitätsanalyse

Die Aufgabe einer Sensitivitätsanalyse liegt darin, die Empfindlichkeit der Ergebnisse (hier sind das die Umweltkategorien) im Verhältnis zu der Unsicherheit der Eingabedaten darzustellen.

Unsicherheiten für die Posidonia-Fasern liegen beispielsweise in der Einbaudichte. Zu Projektbeginn wurde davon ausgegangen, dass eine setzungssichere Einbaudichte von über 130 kg/m³ notwendig ist. Mittlerweile ist durch die verbesserte Fasergewinnung eine setzungssichere Einbaudichte von 70 kg/m³ geprüft. Die Einbaudichte wirkt sich direkt proportional auf die funktionelle Einheit aus. In Tabelle 20 wurde daher neben dem Wert für 100 kg/m³, wie er ursprünglich für die Funktionelle Einheit angenommen wurde, der Wert für 70 kg/m³ aufgenommen. Es zeigt sich, dass Posidonia im Vergleich mit anderen Dämmstoffen sehr gute Werte erreicht.

Tabelle 20: Vergleich der Funktionellen Einheiten verschiedener Dämmstoffe

Per F.U.	Posidonia oceanica (3,43)	Posidonia oceanica (4,9)	Steinwolle (1,18)	Zellulose (1,28)	Flachs (1,26)	Kenaf (1,52)	Glaswolle (1,00)	Polyurethan (0,84)
Treibhauspotenzial (gCO ₂ e)	625,12	893,03	1.449,0	819,0	2.357,0	3.170,0	2.200,0	3.200,0
Versauerungspotenzial (gSO ₂ e)	5,52	7,89	12,30	5,50	16,80	27,40	8,40	27,90
Eutrophierungspotenzial (gPO ₄₃ -e)	0,65	0,93	1,20	0,70	1,20	2,40	1,30	2,94
Photochemisches Ozonbildungspotenzial (gC ₂ H ₄ e)	0,45	0,64	4,60	0,20	0,50	2,20	2,50	1,40
Energieverbrauch (MJ)	51,46	73,52	20,80	26,20	49,70	59,37	47,30	93,60
Wasserverbrauch (kg)	3,43	4,9	3,91	0,82	5,77	10,70	27,00	297,7
Gesamt- abfallmenge (kg)	0,65	0,93	0,05	0,03	0,16	2,00	6,60	0,32

Fazit

Der größte Eintrag auf die Wirkungskategorien wird durch den notwendigen Transport der Posidonia-Fasern aus dem Ursprungsland nach Karlsruhe verursacht. Trotz dieses Umstands und der Tatsache, dass für andere Dämmstoffe dieser Transportaufwand nicht in dem Maße not-

wendig ist, ergeben sich im Vergleich mit anderen Dämmstoffen für den Posidoniadämmstoff hervorragende Werte.

An dieser Stelle muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Vergleichbarkeit der Kennwerte unterschiedlicher Studien immer vom jeweiligen Untersuchungsrahmen abhängt. Hierfür gibt es keine Festlegungen, dieser ist somit nicht einheitlich. Eine tabellarische Gegenüberstellung ist demnach nur bedingt möglich. Es kann aber festgehalten werden, dass sich die Kennwerte für Posidonia-Dämmmaterial im Bereich der ‚Best-Case-Werte‘ für Zellulosedämmung bewegen, und damit einen sehr guten Ökologischen Fingerabdruck zeigen.

3 Zusammenfassung

Ziel des Projektes war es, die Möglichkeiten des Einsatzes von Posidonia-Fasern als Dämmstoff in den Bereichen Bau und Kfz zu testen, die hierfür notwendigen Verarbeitungstechniken und Verfahren zu entwickeln sowie eine Versorgungs- und Vermarktungsstrategie zu entwickeln, um den Markteintritt vorzubereiten. Zusätzlich sollte eine Ökobilanz durchgeführt werden, um das ökologische Profil der Posidonia-Fasern zu unterstreichen.

Ausgehend von einer Charakterisierung der Eigenschaften (Feuchtesorption, Agglomerationsneigung) des Ausgangsmaterials wurden die Bedingungen und Maschineneinstellungen für die Produktion von möglichst sandfreien und langen Fasern ermittelt. Das Abrütteln des Sandes ist eine geeignete Methode, um die Agglomerate von Sand zu befreien, wobei hier ein Kompromiss zwischen Abrütteldauer und Restsandanteil gefunden werden muss. Das Verwenden von naturfeuchten Agglomeraten und eine Sieblochweite von 30 mm erwiesen sich als praktikabel für die Produktion der Fasern. Bei NeptuTherm konnten im Produktionsbetrieb Maschinendurchsatz, Sandabscheidung und Faserlänge verbessert werden. Die Idee für eine zweite Stufe der Sandabscheidung ist vorhanden und soll realisiert werden.

Ein Setzungsprüfstand zur Bestimmung des Setzungsverhaltens aufgeblasener Schüttungen wurde entwickelt und gebaut, das Setzungsverhalten der Einzelfasern sowie von Mischungen aus Posidonia und Holzspänen ermittelt.

Der Posidoniadämmstoff weist im Vergleich zu anderen Einblasdämmstoffen ungünstigere Einblaseigenschaften auf. Aus diesem Grund wurde bei X-Floc eine auf die Eigenschaften der Posidonia-Fasern abgestimmte Maschinenteknik entwickelt. Wesentliches Merkmal ist eine Transportschnecke, die das vom Auflockerungsarm grob aufgelockerte Material zur Schleuse befördert. Die Schnecke eignet sich zum Fördern von Posidonia besonders gut, da keine Querschnittsverengungen stattfinden, die Blockaden forcieren. Am Ausgang der Schnecke befindet sich der schnelldrehende Häcksler. Das fein gehäckselte Material fällt in die direkt darunter liegende Zellschleuse. Diese wurde kompakt aufgebaut. Vor allem die Schleusenammern sind klein gehalten. Damit sollen Blockaden vermieden bzw. überwunden werden. Die Maschinenbefüllung wird durch einen Kistenaufsatz mit Staubabsaugung komfortabel für die Maschinenbedienung ausgeführt.

Nach dem vorliegenden Konzept erfolgten die Konstruktion und die Fertigung eines Prototyps der Einblasmaschine. Nach Fertigstellung dieses Prototyps wurden erste Versuche im Labor und auf Baustellen mit der Posidonia Faser durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Maschine zuverlässig das Material verarbeiten kann.

Die Marktchancen für eine spezielle Einblasmaschine für einen Nischendämmstoff – was Posidonia bzw. NeptuTherm in der Anfangszeit sein wird – sind nicht besonders hoch. Deshalb wurde die Eignung zur Verarbeitung anderer Dämmstoffe bzw. Anwendungsgebiete untersucht und festgestellt, dass die Maschine bestens für das Feuchtsprühen eignet. In Baustelleneinsätzen bei verschiedenen Anwendern erfolgten verschiedene Versuche. Alle haben Ihr Interesse an der Maschine bekundeten. Somit könnte aus der EMX250 eine Maschine mit einem breiteren Anwendungsfeld entstehen.

Unter Anwendung der konstruierten Einblasmaschine konnte der Einblasdämmstoff im Baubereich von NeptuTherm erfolgreich zertifiziert werden.

Eine Recherche nach geeigneten und bestehenden Messverfahren zur Bestimmung des Massenstroms eines Faserdämmstoffes in der Förderleitung zur einfachen Bestimmung der Einbaudichte, Auswahl, Modifikation und Optimierung des Verfahrens ergab das Verfahren Dens Flow der Fa. SWR Mit dem Ultraschall Messsystem DensFlow der Fa. SWR wurden Versuche durchgeführt. Es musste festgestellt werden, dass das System aufgrund der extremen instationären Strömung ungenaue Ergebnisse liefert (>30% Abweichung). Die anschließende Messung mit Holzfaser lieferte keine besseren Ergebnisse. Da in der Praxis noch extremere instationäre Strömungen stattfinden, kann das DensFlow Messsystem nicht zur Massenstrommessung eingesetzt werden.

Zur Herstellung von Dämmmatten aus Fasermaterial wurden am Fraunhofer ICT Versuche mit verschiedenen Bindemitteln durchgeführt. Dabei wurden anorganische, organische und Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Für die Faserbenetzung mit den Bindemitteln wurden die Faserschüttungen in dafür konstruierten Siebkästen getaucht, abgetropft/ausgepresst, ausgebracht und getrocknet. Hiermit war es möglich, gleichmäßig gebundene und stabile Matten herzustellen.

Um das optimale Bindemittel, sowie das am besten geeignete Verfahren zu bestimmen wurden die erstellten Matten hinsichtlich Aussehen, Störgeruch, Handhabung, Wasserbeständigkeit der Verklebung und Rückstellvermögen verglichen. Zusätzlich wurden Prüfungen zu Wärmeleitfähigkeit, Brandverhalten, Biegeverhalten, und Druckverhalten durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass Dichte und Wärmeleitfähigkeit der Matten im Bereich üblicher Wärmedämmstoffe liegen. Die Mikrowellentrocknung hat sich als beste der hier verwendeten Methoden herauskristallisiert, da durch die Mikrowellenstrahlung auch Flüssigkeit im Inneren der Matte verdunstet und dadurch eine homogenere Bindemittelverteilung gegeben ist. Mit einem Bindemittel konnte eine flexible Bindung erzeugt werden. Dieser Binder erwies sich damit als das optimale Bindemittel für die Mattenherstellung.

Weiterhin wurde eine Matte hergestellt, indem die Fasern mittels der Einblasmaschine „Zelofant“ der Firma X-Floc bei niedrigster Gebläse Stellung in den Siebkasten eingeblasen wurden. Die so erstellte Matte wurde ohne Druck vom Binder befreit und besaß eine niedrigere Dichte, sowie eine bessere Struktur als vorher erstellte Matten. Dieses Verfahren bietet eine gute Grundlage für großtechnische Verfahren zur Mattenerstellung.

Bei Versuchen mit der beheizbaren Presse hat sich gezeigt, dass feste Platten aus den Posidonia-Fasern erstellt werden können. Die Dicke dieser Platten kann exakt eingestellt werden. Selbst bei geringen Dicken (1-10 mm) besaßen die Platten einen guten Zusammenhalt.

Im Unterauftrag wurden bei der Firma Hock (Hanf Hock) Posidonia-Hanf-Verbundmatten hergestellt. Die Fasern wurden in einer Versuchsreihe schichtenweise eingestreut. Hierbei konnten Matten hergestellt werden, die bis zu einem Anteil von 30 % Posidonia an den Schichten gut zusammenhielten. In einem weiteren Versuch wurden die Fasern vor der Krempel, der Faserausrichtungsanlage, zugemischt. Durch die kurzen Faserlängen fielen etwa 1/3 der zugegebenen Menge aus der Anlage heraus. Das verbleibende Material wurde jedoch gut in die Hanf-Bico-Matrix eingebunden. Die auf diese Weise hergestellten Matten enthielten einen Posidonia-Anteil von bis zu 17%.

Bei Fiber Engineering wurden 2D- und 3D-Faserformteile hergestellt. Hierbei handelt es sich um Produkte aus dem Bereich der Formteileproduktion. Aufgrund des großen Potenzials im Bereich der Automobilzulieferindustrie wurde hier der Schwerpunkt gesetzt. Weitere Möglichkeiten auf dem Gebiet der Mobilität sind in den Bereichen Schienenfahrzeuge, Flugzeug- und Schiffsindustrie.

Nach umfangreichen Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass auf Grund der Faserstruktur und dem Vorkommen der Posidonia Faser in Ballenform mit mehr oder weniger Sandanteilen,

die Verwendung von Posidoniafasern für Innenraumbauteile im Kfz, gebunden mit einer **Klebefaser** nach bisherigen Erkenntnissen ausscheidet.

Erfolgreich dagegen war die Herstellung eines duroplastisch mit einem Flüssigkleber gebundenen 3D Faserformteil für Kfz. Hierfür wurden Posidonia Fasern geöffnet und mit einem auf PUR Basis hergestellten Flüssigkleber besprüht und anschließend getrocknet. Die getrockneten Fasern bildeten einen losen Verbund, der im Durchlauf des Füllschachtes zu Einzelfasern wieder geöffnet wurde und somit in ein Werkzeug eingblasen werden konnte. Auf diese Art konnte ein 3D Faserformteil in Form einer Stirnwand innen des VW Passat erzeugt werden. Das Material erfüllt die Schwerentflammbarkeit nach TL1010 (VW) und die vorher bekannten Staubanteile sind durch den Kleber überwiegend gebunden worden. Allerdings zeigten sich Nachteile: Zum Einen können die mit Kleber besprühten Fasern nur mit einem Deckvlies verarbeitet werden, da sonst ein Festkleben im Werkzeug stattfindet. Ein akustischer Nutzen der reinen Posidonia Faser war auf Grund der groben Faserstruktur nicht erkennbar.

Somit muss der Nutzen der Posidonia Faser für den Automobilbereich mit der FIM Technologie von Fiber Engineering auf folgende Bauteile beschränkt werden:

- Feste Trägerteile wie z.B. Motorkapselung können nur mit einem duroplastischen Binder hergestellt werden, wegen der erhöhten Temperaturanforderung. Empfehlung Binder J oder die Weiterentwicklung des Herstellers.
- Unterbodenschutz Kann nur mit duroplastischem Kleber hergestellt werden um die nötigen Eigenschaften der Schlagfestigkeit zu erreichen.
- Türinnenverkleidung. Als reines Posidonia-Bauteil nur mit duroplastischem Kleber. Eventuell zusammen als Hanf/Posidonia Mischung mit einer PP-Faser thermoplastisch gebunden.
- Hutablage. Eventuell zusammen als Hanf/Posidonia Mischung mit einer PP-Faser thermoplastisch gebunden.

Die weitere mögliche Anwendung mit festen Trägerteilen wie z.B. Radhaus- und Kofferraumauskleidung wurde im Rahmen des Projektes nicht untersucht.

Weiche **Akustikformteile** aus der Posidonia Faser für Stirnwand, Bodengruppe und Fenderteile sind nach den Ergebnissen mit den bisherigen Klebern nicht sinnvoll. Eine weiche Verklebung/Verbindung der Posidonia Fasern ist mit der FIM Technologie für 3D Faserformteile im Automotivebereich derzeit nicht realisierbar. Entweder die Bindepunkte sind zu schwach, oder es erfolgt keine völlige Bindung der kleinen Faser-/Staubanteile und Sand. Dadurch rieseln nach der Herstellung Fragmente aus den Formteilen, was nicht toleriert wird.

Auch lässt die Struktur der Faser keine gute akustische Wirkung zu. Um tiefe Frequenzen wirksam zu dämmen muss eine ausreichend hohe Masse vorhanden sein. Hohe Frequenzen können am Besten mit feinen Faseranteilen gedämmt werden. Die Posidonia Faser ist zu leicht für eine Dämmung in niedrigen Frequenzen. Außerdem ist die Faserstruktur zu grob, um wirksam filtern zu können. Aus diesen Gründen wurde auf eine aufwändige Vermessung von Platinen für den Automotivebereich verzichtet. Das Messverfahren unterscheidet sich völlig vom Messverfahren für den Baubereich, weswegen hier auch keine Ableitung für diesen Einsatz möglich wäre.

Von RMC GmbH konnten im Sektor Marketing und Lieferkette die möglichen Fundstellen durch eine aufwändige Umfrage in den potentiellen Lieferländern erfolgreich eingegrenzt werden. Durch umfangreiche Marktanalysen ist auch der potentielle Kundenkreis bekannt. Die Print- und Onlinewerbung wurde auf diesen Kundenkreis abgestimmt.

Zur Bestimmung eines Umweltprofils für den Einsatz von Posidonia als losen Dämmstoff für Gebäude wurde eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) gemäß DIN erstellt. Dabei wurde der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt. Wenngleich es schwierig ist, die Ergebnisse direkt mit anderen Dämmstoffen zu vergleichen, da sich die gewählten Systemgrenzen oft stark unterscheiden, zeigte sich, dass der Posidonia-Dämmstoff ein sehr gutes Umweltprofil besitzt.