

BBSR-
Online-Publikation
28/2024

Innovatives Heißluft-/Heißdampf- verfahren zur Herstellung natürlich gebundener Holzfaserdämmstoffe

von

Dr. Markus Euring
Arne Beulshausen
Prof. Dr. Armin Lohrengel
Dr. Raphael Rehmet



Innovatives Heißluft-/Heißdampfverfahren zur Herstellung natürlich gebundener Holzfaserdämmstoffe

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.28

Projektlaufzeit: 04.2021 bis 05.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Dr. Jan Weckendorf
jan.weckendorf@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Georg-August-Universität Göttingen
PD Dr. Markus Euring (Projektleitung)
meuring@gwdg.de

Arne Beulshausen, M. Sc.

Technische Universität Clausthal
Prof. Dr. Armin Lohrengel
lohrengel@imw.tu-clausthal.de

Dr. Raphael Rehmet

Redaktion

Georg-August-Universität Göttingen

Stand

August 2024

Gestaltung

Georg-August-Universität Göttingen

Bildnachweis

Titelbild: Universität Göttingen (Abteilung Öffentlichkeitsarbeit); Technische Universität Clausthal (Stabsstelle Presse, Kommunikation & Marketing)
Alle Bilder im Hauptteil: A. Beulshausen/Universität Göttingen

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitiervorschlag

Euring, M.; Beulshausen, A.; Lohrengel, A.; Rehmet, R., 2026: Innovatives Heißluft-/Heißdampfverfahren zur Herstellung natürlich gebundener Holzfaserdämmstoffe. BBSR-Online-Publikation 28/2024. Bonn. <https://doi.org/10.58007/m9f2-ar92>

DOI 10.58007/m9f2-ar92

ISSN 1868-0097

Bonn 2026

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	6
Einführung	7
Themenfeld	7
Problemstellung	9
Stand der Forschung/Baupraxis	9
Forschungslücke/Entwicklungsbedarf	9
Zielstellung	10
Konkrete Projektziele	10
Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu	10
Forschungsdesign	11
Arbeitshypothesen	11
Methodischer Ansatz	11
Projektteam und Organisation, Kooperationspartner	11
Arbeitspakete und Meilensteine	12
Projektverlauf – Hauptteil, „Beweisführung“	13
Darstellung der durchgeführten Arbeiten und der Erkenntnisse daraus (inkl. Zwischenergebnisse und Meilensteine)	13
Beschreibung und Begründung von möglichen Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Antrag	37
Ergebnisse	38
Zusammenführung der Zwischenergebnisse zum Endergebnis	38
Bewertung/Diskussion/Zielerreichung – Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext inkl. möglicherweise bekannt gewordenen Ergebnissen von dritter Seite	38
Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	39
Schlussworte	41
Mitwirkende	42
Kurzbiographien	43
Abbildungsverzeichnis	45
Tabellenverzeichnis	46
Anlagen	47
Anlage 1 Arbeits- und Zeitplan	48
Anhang 2 Aktualisierter Zeitplan	52

Kurzfassung

Die Nachfrage nach Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen nimmt stetig zu. Auch der Bereich der Gebäudedämmung ist von diesem Trend betroffen. Die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen ist bereits seit Langem etabliert. Die Universität Göttingen hat jedoch eine neue Fertigungstechnologie im Labormaßstab entwickelt – das sogenannte Heißluft-/Heißdampfverfahren – mit dem es möglich ist, Holzfaserdämmplatten unter Verwendung natürlicher oder naturnaher Bindemittel herzustellen.

Die derzeit am Markt eingesetzten Holzfaserdämmstoffe werden weiterhin mit polymerbasierten Bindemitteln produziert. Eine Herstellung dieser Werkstoffe mit nachwachsenden Bindemitteln ist bisher noch nicht realisierbar. Hierfür muss der bestehende Herstellungsprozess angepasst werden.

Im Rahmen einer vorangegangenen Studie wurde daher die Konstruktion und der Bau einer Versuchsanlage angestoßen, um den bisherigen Labormaßstab in einen semi-kontinuierlichen Prozess zu überführen.

Zu diesem Zweck wurden an der Universität Göttingen verschiedene natürliche und naturnahe Bindemittelsysteme erfolgreich im Labormaßstab untersucht. Auf Basis dieser Ergebnisse erarbeiteten die Projektpartner der TU Clausthal gemeinsam mit der Universität Göttingen die relevanten Parameter und Anforderungen für die zu konstruierende Versuchsanlage. Hierzu wurden zahlreiche Versuche im Göttinger Biotechnikum durchgeführt und die hergestellten Dämmstoffe anhand von DIN-Prüfverfahren analysiert. Parallel dazu fanden an der TU Clausthal verschiedene Simulationen statt, die zeitgleich mit der Datenerhebung in Göttingen durchgeführt wurden.

Nach der Festlegung der Prozessparameter für den semi-kontinuierlichen Betrieb begann die Konstruktion der Versuchsanlage. Dabei wurden unterschiedliche Materialien und Maschinenteile bestellt und gefertigt. Einige dieser Komponenten wurden – je nach Anwendungsbereich – zunächst im Labormaßstab auf ihre Eignung geprüft. Die abschließende Montage der Versuchsanlage sowie die Funktionsprüfung und erste Versuchsreihen mit Holzfasern erfolgten am Standort Clausthal.

Aus den durchgeführten Versuchen wurden kritische Prozessparameter identifiziert und Optimierungen erarbeitet, die als Grundlage für die Entwicklung eines vollkontinuierlichen Prototyps dienen sollen.

Diese Arbeit stellt somit die Vorstufe zur Entwicklung eines Prototyps im vollkontinuierlichen Heißluft-/Heißdampfverfahren dar, welcher als Basis für eine zukünftige industrielle Anwendung dienen könnte. Darüber hinaus leisten die Untersuchungen zu natürlichen und naturnahen Bindemitteln nicht nur einen Beitrag zur Herstellung von Holzfaserdämmstoffen, sondern könnten auch die gesamte Holzwerkstoffproduktion bereichern.

Abstract

The demand for building products made from renewable raw materials continues to grow steadily. The field of building insulation is also affected by this trend. While the production of wood fiber insulation materials has long been established, the University of Göttingen has developed a new manufacturing technology on a laboratory scale – the so-called hot air/hot steam process – which makes it possible to produce wood fiber insulation boards using natural or bio-based binders.

Currently, wood fiber insulation materials available on the market are still produced using polymer-based binders. Manufacturing these materials with renewable binders is not yet feasible. To enable this, the existing production process must be adapted.

As part of a preliminary research project, the design and construction of a pilot plant was initiated to scale up the laboratory process to a semi-continuous level.

For this purpose, various natural and bio-based binder systems were successfully tested on a laboratory scale at the University of Göttingen. Based on these results, the project partners from Clausthal University of Technology and the University of Göttingen jointly defined the relevant parameters and requirements for the planned semi-continuous pilot plant. Numerous experiments were carried out at the Göttingen Biotechnikum, and the produced insulation materials were analyzed in accordance with DIN testing standards. In parallel, various simulations were conducted at TU Clausthal, synchronized with the data collection in Göttingen.

Once the process parameters for semi-continuous operation were established, the construction of the pilot plant began. Various materials and machine components were ordered and manufactured. Depending on their intended use, some of these components were initially tested for suitability at laboratory scale. Final assembly of the pilot plant, as well as functional testing and initial test runs with wood fibers, took place at the Clausthal site.

From these trial runs, critical process parameters and optimization measures were derived to support the development of a fully continuous prototype.

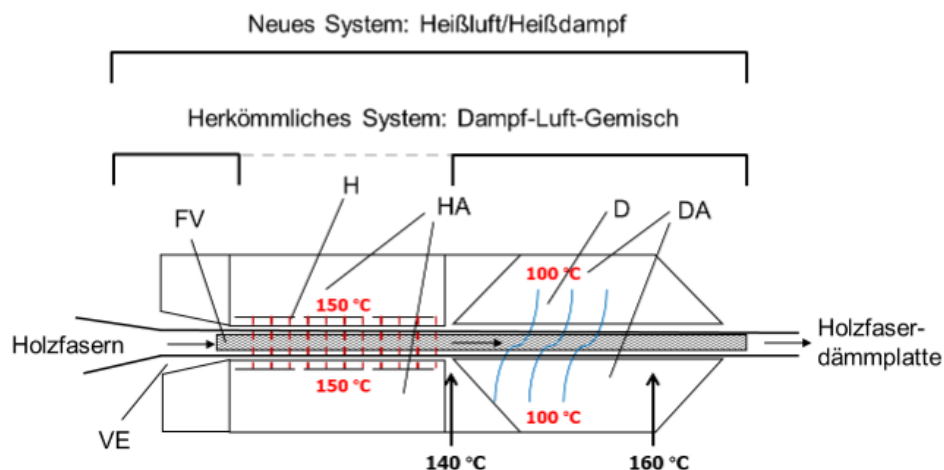
This work thus provides the foundation for developing a fully continuous prototype based on the hot air/hot steam process, which could serve as a basis for future industrial application. In addition, the investigations into natural and bio-based binders not only contribute to the production of wood fiber insulation materials, but may also provide added value to the broader wood-based materials industry.

Einführung

Themenfeld

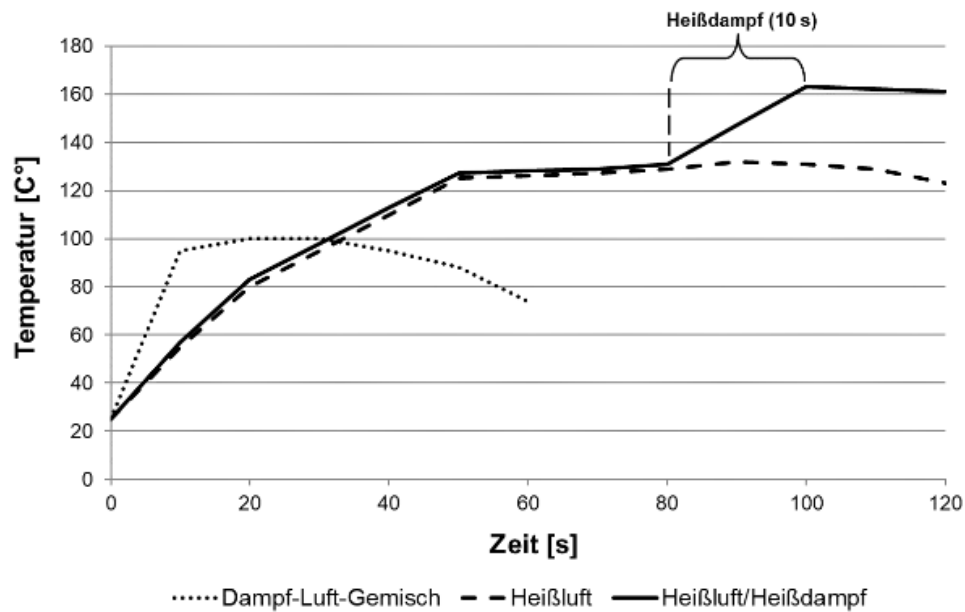
Dämmstoffe sind im heutigen Bauwesen ein unverzichtbarer Werkstoff. Häufig kommen herkömmliche Materialien wie Styropor oder andere erdölbasierte Stoffe zum Einsatz. Aufgrund des gestiegenen Umweltbewusstseins in der Bevölkerung sowie verschärfter gesetzlicher Vorgaben zur Reduktion von CO₂-Emissionen wächst jedoch die Nachfrage nach umweltverträglichen Dämmstoffen. Eine geeignete Alternative stellen Holzfaserdämmstoffe dar. Die Herstellung dieser Werkstoffe erfolgt heute meist im kontinuierlichen Trockenverfahren mittels eines Dampf-Luft-Gemischs, wobei häufig polymerbasierte Bindemittel zum Einsatz kommen, die anschließend aushärten. Auch hier steigt jedoch die Nachfrage nach naturnahen Bindemitteln zur Herstellung dieser Dämmstoffe. Diese Bindemittel erfordern in der Regel höhere Aushärtungs- bzw. Abbindungstemperaturen, die mit den derzeit eingesetzten industriellen Fertigungsanlagen nicht erreicht werden können. Aus diesem Grund wurde an der Universität Göttingen ein innovatives Herstellungsverfahren im Labormaßstab entwickelt (siehe Abbildung 1). Dieses Verfahren bietet durch die Kombination aus einer beginnenden Heißluftbehandlung mit einer folgenden Heißdampfzugabe eine deutlich höhere Prozesstemperatur im Vergleich zum klassischen Dampf-Luft-Gemisch (siehe Abbildung 2).

Abbildung 1: Gegenüberstellung der beiden Herstellungsverfahren für Holzfaserdämmstoffe.



Abkürzungen: T = Transportbänder, VE = Verdichtungseinheit, VP = Vorpresse zur Vorverdichtung des Faservlieses, FV = Faservlies, H = Heißluft, HA = Heißluftaggregat, D = Heißdampf (bzw. Dampf-Luft-Gemisch beim herkömmlichen System), DA = Dampfaggregat

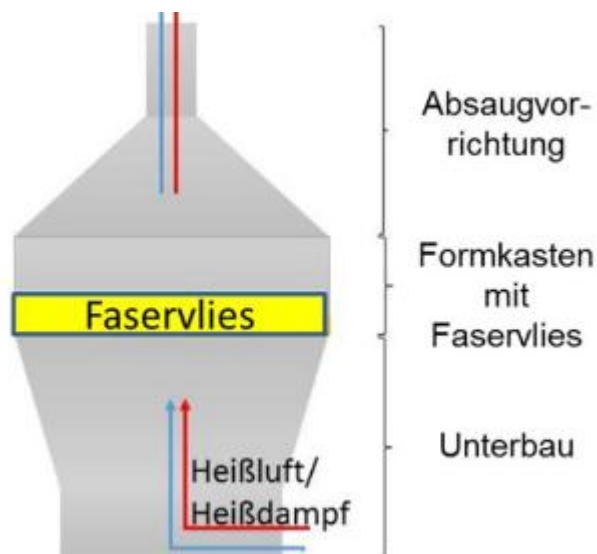
Abbildung 2: Thermische Verläufe der verschiedenen Herstellungsverfahren.



Untersuchungsgegenstand

Im Rahmen dieses Projekts wird das an der Universität Göttingen entwickelte Heißluft-/Heißdampfverfahren (Kharazipour und Euring 2013) untersucht. Dieses Verfahren dient der Herstellung naturnaher beziehungsweise natürlich gebundener Holzfaserdämmstoffe. In Kooperation mit dem Fritz-Süchting-Institut der TU Clausthal soll nun ein Upscaling des Verfahrens vom Labormaßstab (vgl. Abbildung 3) in einen semi-kontinuierlichen Maßstab erfolgen. Ziel ist die Planung und der Bau einer entsprechenden Prototypenanlage.

Abbildung 3: Übersicht des Heißluft/Heißdampfverfahrens im Labormaßstab.



Problemstellung

Stand der Forschung/Baupraxis

Heutzutage werden Produkte der Holzfaserdämmstoffindustrie überwiegend im Trockenverfahren unter Verwendung polymerbasierter Bindemittel hergestellt. Diese Dämmstoffe finden zunehmend Anwendung in der Gebäudedämmung und erfreuen sich wachsender Beliebtheit bei einem breit gefächerten Kundenkreis. Allein in Deutschland sind fünf große Hersteller von Holzfaserdämmstoffplatten tätig, die eine umfangreiche Produktpalette mit unterschiedlichen Dicken, Rohdichten und Einsatzbereichen anbieten. Diese reicht von flexiblen Zwischensparrendämmungen über druckfeste Außen- und Innendämmungen bis hin zu statisch wirksamen Verbundplatten (vgl. (GUTEX 2024; Sonae Arauco Deutschland GmbH 2021)). Das derzeitige industrielle Herstellungsverfahren basiert auf einer vollständig kontinuierlichen Prozessführung, die aus dem Trockenverfahren zur Faserplattenherstellung hervorgegangen ist. Dabei wird das gestreute Faservlies in einer Doppelbandpresse mit einem Dampf-Luft-Gemisch durchströmt, wodurch das synthetische Bindemittel ausgehärtet wird. Bei Verwendung von PUR- oder pMDI-Systemen liegen die Prozesstemperaturen typischerweise bei etwa 100 °C. Hersteller solcher Anlagenkonzepte sind beispielsweise die G. Siempelkamp GmbH & Co. KG (Krefeld) sowie die Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau (Eppingen). Parallel dazu wächst das Interesse an Produkten, die vollständig auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden. Dies stellt jedoch erhöhte Anforderungen an die Produkteigenschaften und insbesondere an deren Herstellungsverfahren (Ostendorf 2022). Als innovativer Lösungsansatz wurde an der Georg-August-Universität Göttingen das sogenannte Heißluft-/Heißdampfverfahren entwickelt (Kharazipour und Euring 2013), das grundsätzlich den Einsatz natürlicher anstelle polymerbasierter Bindemittel erlaubt. Die Entwicklung und Erprobung dieses Verfahrens erfolgte zunächst im Rahmen einer Findungsphase im Labormaßstab. In diesem Batchprozess werden die beleimten Holzfasern händisch zu einem Faservlies gestreut und auf die berechnete Dicke kalibriert. Anschließend werden Heißluft und Heißdampf in einem geschlossenen Kasten von unten durch das Material geleitet, um das jeweilige Bindemittel auszuhärten (vgl. Abbildung 3). Wie in Ostendorf (2022) beschrieben, wurden dabei verschiedene Optimierungspotenziale des Batchprozesses identifiziert, die nun im Rahmen des Forschungsprojekts aufgegriffen und weiterentwickelt werden sollen.

Forschungslücke/Entwicklungsbedarf

Auf Grundlage des Heißluft-/Heißdampfverfahrens im Labormaßstab fokussiert sich das vorliegende Forschungsprojekt auf das Upscaling des Verfahrens hin zu einem semi-kontinuierlichen Herstellungsprozess. Basierend auf den bisherigen Erfahrungswerten und Vorversuchen der Universität Göttingen soll in Kooperation mit der Technischen Universität Clausthal untersucht werden, wie sich der bestehende Batchprozess in einen semi-kontinuierlichen Betrieb überführen lässt.

Zu diesem Zweck soll ein Prototyp entwickelt und konstruiert werden, anhand dessen sowohl dämmstofftechnische als auch maschinenbaurelevante Parameter erfasst und analysiert werden. Geplant ist, die kalibrierte Dämmstoffplatte durch gezielte Einspeisung von Heißluft und Heißdampf von der Ober- und/oder Unterseite zu durchströmen, um eine möglichst gleichmäßige und effiziente Erwärmung zu ermöglichen.

Auf Basis der ermittelten Prozessparameter soll im weiteren Projektverlauf die Übertragbarkeit des Heißluft-/Heißdampfverfahrens auf einen vollkontinuierlichen industriellen Maßstab evaluiert werden.

Zielstellung

Konkrete Projektziele

Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Dämmplatten für den Einsatz im Bauwesen, die vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen und natürlichen Bindemitteln bestehen. Im Fokus stehen dabei Holzfaserdämmplatten, die bislang ausschließlich unter Verwendung erdölbasierter, synthetischer Bindemittel hergestellt werden. Die Umsetzung dieses Ziels erfordert eine technologische Weiterentwicklung des bestehenden industriellen Fertigungsverfahrens. Das Heißluft-/Heißdampfverfahren wurde im Rahmen eines einfachen Labor-Batchprozesses bereits erfolgreich erprobt. Im vorliegenden Projekt soll es nun durch eine grundlegende Analyse und Untersuchung der einzelnen Prozessschritte die Grundlage für die Überführung in einen semi-kontinuierlichen Prozess bilden – mit dem Ziel, eine wirtschaftlich tragfähige und ökologisch nachhaltige Produktion zu ermöglichen. Hierzu sollen sämtliche relevanten Platten- und Bindemittelrezepturen sowie verfahrenstechnischen Parameter ermittelt werden, die für die Herstellung dieses biobasierten Bauprodukts erforderlich sind. Die Umsetzung soll mithilfe einer konzipierten und funktionsfähigen semi-kontinuierlichen Musteranlage erfolgen.

Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu

Um die Herstellung natürlich gebundener Holzfaserdämmstoffplatten zu ermöglichen und damit der zunehmenden Nachfrage nach ökologischen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen gerecht zu werden, leistet dieses Projekt einen entscheidenden Beitrag zur Überführung des bislang im Labormaßstab erprobten Heißluft-/Heißdampfverfahrens in einen industriell relevanten Maßstab. Damit wird ein wichtiger Schritt hin zu einer nachhaltigen und wirtschaftlich tragfähigen Produktion biobasierter Dämmstoffe vollzogen. Zusätzlich werden naturnahe Bindemittel und Additive untersucht, deren Einsatzmöglichkeiten auch über den Dämmstoffbereich hinausreichen. So könnte das entwickelte Heißluft-/Heißdampfverfahren beispielsweise als energieeffiziente Vorwärmstufe in der Produktion mitteldichter Faserplatten (MDF) oder anderer Holzwerkstoffe eingesetzt werden. Dadurch lassen sich nicht nur thermische Prozesse optimieren, sondern auch der ökologische Fußabdruck der Holzwerkstoffindustrie deutlich reduzieren.

Forschungsdesign

Arbeitshypothesen

Die prozesssichere Umsetzung des patentierten Verfahrens in einen kontinuierlich laufenden Herstellungsprozess steht bislang noch aus. Die zentrale Herausforderung liegt in der Übertragung der einzelnen Verfahrensschritte in einen durchgängigen Prozess, der eine gleichbleibende Produktqualität gewährleistet. Ziel ist es, den Dämmstoff in der geforderten Mindestqualität kontinuierlich und reproduzierbar herzustellen.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind zunächst grundlegende Forschungsfragen zu klären:

- Wie müssen die einzelnen Prozessschritte gestaltet sein?
- Gelingt es, mit den verschalteten Prozessschritten verlässlich reproduzierbare Ergebnisse hinsichtlich der Produkteigenschaften zu erreichen?
- Wo liegen die Grenzbereiche des Verfahrens? Die Versuche erfolgen semi-kontinuierlich. Das Naturfasermaterial wird einzeln vorgepresst und anschließend manuell in die Anlage gegeben. Die beiden Kernprozessschritte der Heißluft-/Heißdampfdurchströmung erfolgt für sich betrachtet kontinuierlich.

Methodischer Ansatz

- typische Laborgeräte zur Messung der Bindemittelqualitäten. Dies ist notwendig um die Verarbeitbarkeit der erforschten und einzusetzenden Bindemittelvarianten zu charakterisieren und mit klassischen Referenzbindemitteln vergleichen zu können. Dazu zählen Bindemittelleigenschaften wie: dynamische / kinematische Viskosität, Topfzeit, Gelierzeit, pH-Werte und Scherraten.
- Zusammenhang zwischen Prozessparametern (Temperatur im Faservlies, Dampfdruck, -sättigung und -temperatur, Vorschubgeschwindigkeit, usw.) der neuen Anlage und physikalischen Eigenschaften des Dämmstoffs. Nur durch die Ermittlung der verschiedenen Parameter und das genaue Abstimmen kann ein präziser Prozess zur Herstellung des gewünschten Holzfaserdämmstoffes generiert werden.
- Test der mechanisch-physikalischen Eigenschaften nach DIN -Normen, Materialuntersuchung. Die Ergebnisse dieser Tests können Vergleiche zwischen den verschiedenen Herstellungsprozessen unterstützen und gegebenenfalls Vor- und Nachteile des jeweiligen Verfahrens aufzeigen.
- Konstruktionssystematik nach VDI 2221. Diese Richtlinie gibt die einzelnen Phasen und deren Abfolge bis zum fertigen Entwurf eines Produktes vor.
- FMEA Fehler-Modus-Einflussanalyse nach DIN 25448. Dabei muss sich ein Modell eines Fehleranalyse unterziehen welche verschiedenen Phasen in einer System- und Risikoanalyse abbilden bis hin zu Optimierungsansätzen.
- Thermisch-fluidische Multiphysiksimulation fluid- und strukturelle FEM-Analyse der Anlage mit ANSYS

Projektteam und Organisation, Kooperationspartner

Das bearbeitete Projekt wird von Privatdozent Dr. Markus Euring der Arbeitsgruppe Holzwerkstoffe und Hybridmaterialien geleitet. Ein zentraler Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe ist seit langer Zeit die Entwicklung neuer Verfahren zur Produktion von Holzwerkstoffen (Spanplatten, MDF, OSB-Platten und Dämmstoffe). Dies schließt sowohl die Entwicklung von natürlichen Bindemitteln und

Mischkondensaten zur Herstellung von Holzwerkstoffen als auch die Untersuchung neuer lignocellulosehaltiger Rohstoffe zur Holzwerkstoffherstellung mit ein. Durch die Arbeitsgruppe wurden zahlreiche BMBF-, DFG-, DBU-, BMELV- und BMWi-Projekte durchgeführt. Darüber hinaus wurden/werden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus der Holzindustrie und deren Zulieferern (Maschinenbau, Bindemittelhersteller, Chemieunternehmen etc.) zahlreiche Forschungsaufträge bearbeitet. Das Institut für Maschinenwesen (IMW) der Technischen Universität Clausthal ist in klassischen Maschinenbausparten sowie in neuartigen Technologiefeldern beheimatet. Der Bereich der ressourcenschonenden Entwicklung von Produkten sowie dem Recycling von seltenen Erden ist eines der jüngsten Forschungsgebiete, die das Institut bearbeitet. In diesem Forschungsschwerpunkt wird unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel an der ressourceneffizienten Entwicklung und nachhaltigen Produktentwicklung im Hinblick auf gesellschaftlich relevante, technische Problemstellungen gearbeitet. Im Bereich der Anlagen- und Verfahrenstechnik verfügt das IMW über langjährige Erfahrung. Die Verfahrenstechnik ist in die Lehre des Instituts fest verankert. Die Kombination aus Verfahrenstechnik und konstruktivem Maschinenbau ermöglicht es, komplexe Aufgaben zu bearbeiten. In den jeweiligen Bereichen wurden zahlreiche Forschungsprojekte aus der Industrieforschung sowie aus der akademischen Forschung bearbeitet.

Arbeitspakete und Meilensteine

- AP0: Dauerhaft: Anforderungsliste und Controlling
- Phase I: Die semi-kontinuierliche Versuchsanlage wird in dieser Phase im Detail auskonstruiert. Grundlagenuntersuchungen werden dazu auf verschiedenen Ebenen durchgeführt
 - AP1: Beschaffungen, Parameterplanung
 - AP2: Simulation (Strömungs- und wärmetechnische Simulation der Anlage)
 - MS1: Konzeption Prozessführung/Simulation durchgeführt
 - AP3: Entwurf und Konstruktion
 - MS2: Vorbereitung für den Bau der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage abgeschlossen
- Phase II: Bau der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage. Phase II startet bereit während Phase I noch läuft
 - AP4: Fertigung und Montage
 - AP5: Versuchsdurchführung
 - AP6: Projektabschluss, Öffentlichkeitsarbeit
 - MS3: Bau und Überprüfung der Versuchsanlage/Formulierung von Parametern für einen kontinuierlichen Prototypen aufgenommen

Projektverlauf – Hauptteil, „Beweisführung“

Darstellung der durchgeführten Arbeiten und der Erkenntnisse daraus (inkl. Zwischenergebnisse und Meilensteine)

Phase I: In dieser ersten Projektphase wurde die semi-kontinuierliche Versuchsanlage detailliert entworfen und konstruktiv ausgearbeitet. Ziel dieser Anlage ist die Durchführung grundlegender Versuchsreihen, weshalb bereits in der Planungsphase besonderes Augenmerk auf Flexibilität und Anpassbarkeit gelegt wurde. Neben festen Anlagenkomponenten zur Antriebs- und Energieversorgung sowie peripheren Einrichtungen wie Messtechnik und Tragstruktur lag der Fokus der Entwicklung insbesondere auf den Elementen zur gezielten Führung von Heißluft und Heißdampf. Diese Komponenten mussten in mehreren Varianten ausgeführt, erprobt und hinsichtlich ihrer strömungstechnischen Eigenschaften bewertet werden. Zur Reduzierung des experimentellen Aufwands wurde die Gestaltung der Strömungskomponenten durch Strömungssimulationen unterstützt. Zu Beginn der Phase wurden die benötigten Materialien sowie die relevanten Prozessparameter für den Aufbau der Versuchsanlage festgelegt. Die Auslegung erfolgte nach entwicklungsmethodischen Prinzipien. Nach Abschluss der Konstruktionsarbeiten wurden die erforderlichen Zukaufteile beschafft und die Montage vorbereitet.

AP 1 Beschaffungen, Parameterplanung

Im Rahmen des Projekts wurden Studien zur Machbarkeit der kontinuierlichen Verarbeitung von Holzfaserdämmstoffen mit Bindemitteln aus nachwachsenden Rohstoffen durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss unterschiedlicher Material- und Fertigungsparameter untersucht (vgl. Tabelle 1). Die Versuchsreihen erfolgten in der bestehenden Batchanlage und dienten der Ermittlung relevanter Grenzwerte hinsichtlich Rohdichte, Plattendicke und Eigenschaften der eingesetzten Bindemittel. Zur Bewertung der Ergebnisse wurden mechanische und physikalische Kennwerte – wie etwa Zug- und Querkzugfestigkeit – den jeweiligen Parametersets gegenübergestellt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen ließen sich wichtige Randbedingungen ableiten, die unmittelbar in die konstruktive Ausgestaltung der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage einfließen. Einige Parametersets wurden unter anderem in Ostendorf et al. (2021a) und Ostendorf et al. (2021b) beschrieben.

Tabelle 1: Parameter des Heißluft-/Heißdampfverfahrens nach (Euring et al. 2015).

Heißluft-/Heißdampfverfahren	Versuchsparameter des Heißluftprozesses		
	Temperatur	120 °C - 160 °C	
	Verweilzeit	60 s -300 s	
	Versuchsparameter des Heißdampfprozesses		
	Temperatur	100 °C - 110 °C	
	Verweilzeit	5 s - 10 s	

Der innovative Kern des Projekts liegt in einer thermodynamischen Reaktion, die im Inneren des Faservlieses während des Aushärtungsprozesses stattfindet. Diese Reaktion führt zu einem signifikanten Temperaturanstieg im Material, der als Indikator für eine vollständige Durchhärtung der Dämmstoffplatte interpretiert werden kann. Im kontinuierlichen Betrieb wird diese Zieltemperatur messtechnisch erfasst, weshalb eine präzise Definition der erforderlichen Endtemperatur in Abhängigkeit von Material- und Prozessparametern notwendig ist.

Zur Veranschaulichung werden in den Tabellen 2 und 3 die eingesetzten Parameter sowie die Ergebnisse der Holzfaserdämmstoffherstellung mit einem naturnahen Bindemittel nach Ostendorf et al. (2021b) dargestellt. Ergänzend wurde die durchschnittlich benötigte Wärmemenge [kJ] berechnet, die erforderlich ist, um den sprunghaften Temperaturanstieg im Faservlies zu erzeugen und somit die Zieltemperatur zu erreichen. Grundlage dieser Berechnung bildet die Temperaturdifferenz zwischen Ausgangs- und Endtemperatur des Werkstoffs, multipliziert mit dem doppelten Wert der spezifischen Wärmekapazität von Holz – anschließend umgerechnet in Kilojoule (siehe Formel 1).

Darüber hinaus wurden die im HL/HD-Verfahren erzielten Prozesstemperaturen mit denen pMDI-gebundener Referenzplatten aus dem klassischen Heißdampfverfahren verglichen. Wie in Ostendorf (2022) dargestellt (siehe Abbildung 4: Maximal erreichte Prozesstemperaturen des Heißdampf-Verfahrens (HD) bzw. des Heißluft-/Heißdampf-Verfahrens (HL/HD) von pMDI-gebundenen (4%) bzw. Rapsmehl gebundenen (15%) Dämmstoffplatten (n = 21) nach (Ostendorf 2022).), liegen die maximalen Temperaturen im HL/HD-Verfahren mit durchschnittlich 156,5°C deutlich über denen des Heißdampfverfahrens mit etwa 83,2°C.

In den Arbeiten von Ostendorf et al. (2021a, 2021b) sowie Kirsch et al. (2018) wurden zudem weitere Herausforderungen bei der Herstellung im Batch-Verfahren aufgezeigt – insbesondere die manuelle Schüttung des Faservlieses, die zu Inhomogenitäten im Material führen kann.

Tabelle 2: Plattenparameter nach (Ostendorf et al. 2021b).

Materialparameter	Werte
Rohdichte [ρ]	180 kg/m ³
Dicke	40 mm / 60 mm
Beleimung	15 % Rapsmehl

Tabelle 3: Herstellungsparameter, durchschnittliche Kerntemperatur [°C] sowie benötigte Wärmeenergie [kJ] nach Gleichung 1 bei der Herstellung der Platten nach (Ostendorf et al. 2021b).

Versuchsparameter			
n = 21			
Parameter	Zeit	max. Temperatur	Wärmeenergie des Wasserdampfes
	[s]	[°C]	[kJ]
Heißluft	bis Erreichen der max. Temperatur	130	111,3
Heißdampf	10	Ø156,5	

Formel 1: Berechnung der benötigten Wärmeenergie [kJ] (Eichhorn 2018).

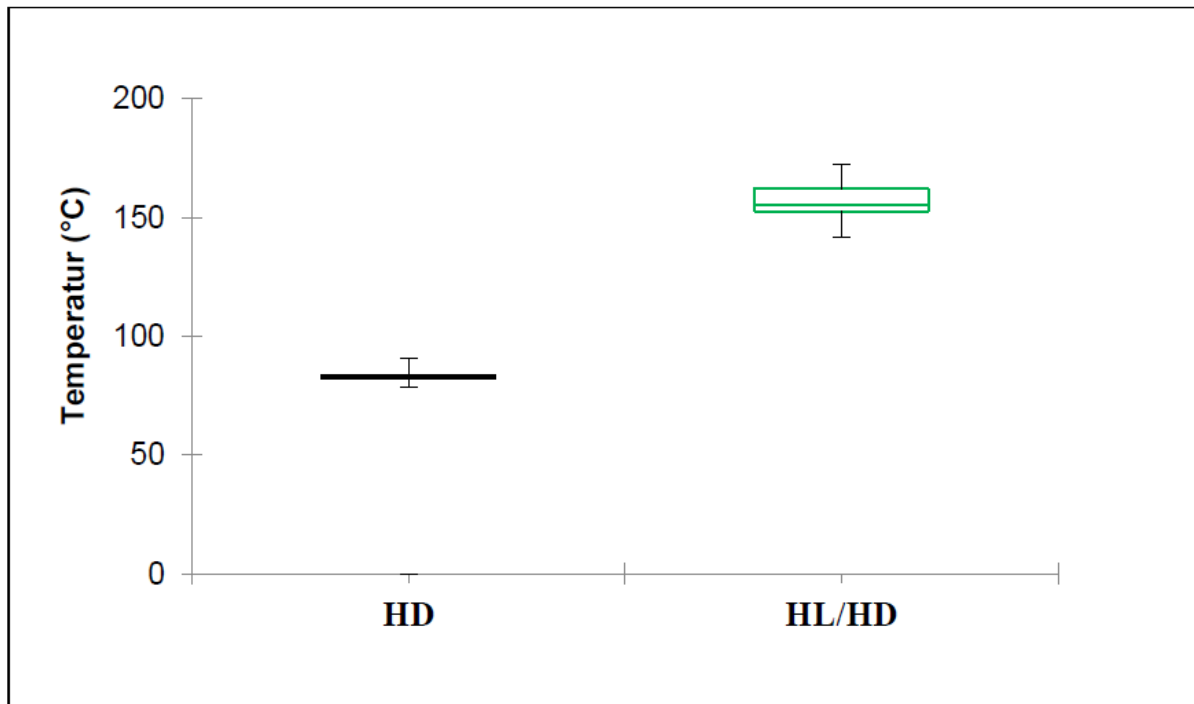
$$\text{Wärmeenergie [kJ]} = (\Delta T * (2 * c)) / 1000$$

ΔT = Differenz zwischen Ausgangs- und Endtemperatur des Plattenwerkstoffes [°C]

c = Spezifische Wärmekapazität in [J/kgK]

c_{Holz} = 2100 [J/kgK] (Ambrozy und Giertlová 2005)

Abbildung 4: Maximal erreichte Prozesstemperaturen des Heißdampf-Verfahrens (HD) bzw. des Heißluft-/Heißdampf-Verfahrens (HL/HD) von pMDI-gebundenen (4%) bzw. Rapsmehl gebundenen (15%) Dämmstoffplatten (n = 21) nach (Ostendorf 2022).



Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt lag auf der Reduktion des Anteils an pMDI-Bindemittel durch den Einsatz verschiedener Additive. Zum Einsatz kamen unter anderem das bereits in vorangegangenen Versuchen verwendete Rapsmehl, Kraft-Lignin, Indulin sowie Propylencarbonat als Verdünnungsmittel. Ziel war es, den pMDI-Gehalt in der Beleimung um 50% zu reduzieren, ohne die mechanisch-physikalischen Eigenschaften der Dämmplatten signifikant zu beeinträchtigen.

Die entsprechenden Herstellungsparameter sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die Materialeigenschaften der so hergestellten Proben werden in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 4: Herstellungsparameter nach (Ostendorf 2022)

Parameter	Einheit	Heißluft-/Heißdampfverfahren	Heißdampfverfahren
Heißluft	[°C]	120	-
Verweilzeit	[s]	Bis erreichen der Temperatur	-
Heißdampf	[°C]	150	150
Verweilzeit	[s]	10s	60s

Tabelle 5: Materialparameter zur Herstellung der Holzfaserdämmstoffplatten mit pMDI-Reduzierung nach (Ostendorf 2022).

Materialparameter	Werte	
Rohdichte [kg/m^3]	160	
Plattendicke [mm]	40	
Beleimung [%]	2%	4%
	Ohne Additiv	Ohne Additiv
	2 % Propylencarbonat	4% Propylencarbonat
	2% Propylencarbonat + 1% [Rapsmehl, Kraftlignin oder Indulin]	4% Propylencarbonat + 1% [Rapsmehl, Kraftlignin oder Indulin]

Die hergestellten Plattenvarianten wurden sowohl mechanisch-physikalisch als auch chemisch analysiert und vergleichend bewertet. Zu den chemischen Untersuchungen zählten die Bestimmung des Lignin-, Pentosan- und Extraktstoffgehalts sowie eine nachgelagerte Elementaranalyse zur Ermittlung der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte.

Bei der Ligninanalyse zeigten sich deutliche Schwankungen in den Messergebnissen, was möglicherweise auf die Methodik nach Klason zurückzuführen ist. Der ermittelte Pentosangehalt fiel insgesamt sehr niedrig aus, was auf einen thermischen Abbau der Hemicellulosen bei den hohen Prozesstemperaturen hindeutet. Bei der Extraktstoffanalyse traten Unterschiede zwischen der Kalt- und Heißwasserextraktion auf: Proben mit zugesetztem Propylencarbonat wiesen in der Kaltwasseranalyse um 2 % bis 4 % niedrigere Werte auf als in der Heißwasseranalyse. Dies legt nahe, dass sich das Propylencarbonat erst bei höheren Temperaturen aus dem Holzverbund löst. Die Elementaranalyse ergab zudem, dass Propylencarbonat die Benetzung der Holzfasern mit pMDI verbessert – ein möglicher positiver Effekt auf die Bindemittelverteilung im Material.

Die mechanisch-physikalischen Prüfungen umfassten die Bestimmung der Querkzugsfestigkeit, Druckfestigkeit sowie der kurzzeitigen Wasseraufnahme. Die Einordnung der Platten erfolgte gemäß DIN EN 13171 (2015). Dabei konnten fast alle im Heißluft-/Heißdampfverfahren hergestellten Proben mindestens eine, teils sogar zwei Klassifizierungsstufen besser eingestuft werden als jene, die im klassischen Heißdampfverfahren gefertigt wurden. Lediglich bei wenigen Heißdampfplatten war aufgrund der hohen Wasseraufnahme keine Klassifizierung möglich.

Hinsichtlich der Bindemittelreduktion zeigte sich, dass eine Absenkung des pMDI-Gehalts grundsätzlich möglich ist. Die untersuchten Additive – Kraft-Lignin, Indulin und Rapsmehl – führten jedoch zu keiner signifikanten Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (vgl. Tabelle 6). In dieser Tabelle sind die relevanten Parameter Rohdichte [kg/m^3], kurzzeitige Wasseraufnahme [kg/m^2], Druckfestigkeit [kPa] und Zugfestigkeit [kPa] dargestellt und gegenübergestellt.

Tabelle 6: Einstufung der 2 % bzw. 4 % pMDI-gebundenen und mittels Heißdampf (HD) oder Heißluft-/Heißdampfverfahren (HL/HD) hergestellten Holzfaserdämmstoffe mit einer Rohdichte von 160 kg/m³ und einer Dicke von 40 mm, mit Zugabe von u. a. 2 % bzw. 4 % Propylencarbonat als Verdünnungsmittel sowie 1 % Kraft-Lignin (BP), Indulin (IN) bzw. Rapsschalenmehl (CH) als Additive. Angelehnt an die Vorgaben der DIN EN 13171 (2015). (Ostendorf 2022)

Variante	Verfahren	Parameter			
		Rohdichtetoleranz	Wasseraufnahme	Druckfestigkeit	Zugfestigkeit
		(kg/m ³)	(kg/m ²)	(kPa)	(kPa)
		Wert Soll = <20	Stufe Wert	Stufe Wert	Stufe Wert
2 0 0	HD	14,7	- 2,7	CS(10/Y)150 152	TR10 14
	HL/HD	18,8	WS1,0 0,6	CS(10/Y)100 137	TR20 22
2 2 0	HD	16,7	WS2,0 1,8	CS(10/Y)150 157	TR10 18
	HL/HD	22,5	WS1,0 0,5	CS(10/Y)150 150	TR20 23
2 2 1-BP	HD	15,7	WS2,0 1,7	CS(10/Y)100 140	TR20 21
	HL/HD	21,5	WS1,0 0,7	CS(10/Y)150 160	TR20 28
2 2 1-IN	HD	14,0	- 4,7	CS(10/Y)100 143	TR10 19
	HL/HD	16,6	WS1,0 0,6	CS(10/Y)150 173	TR20 20
2 2 1-CH	HD	14,8	- 4,5	CS(10/Y)150 151	TR10 14
	HL/HD	17,8	WS1,0 0,7	CS(10/Y)150 150	TR10 17
4 0 0	HD	16,3	- 2,4	CS(10/Y)150 154	TR20 25
	HL/HD	18,1	WS1,0 0,6	CS(10/Y)150 180	TR20 26
4 4 0	HD	18,9	WS2,0 1,5	CS(10/Y)150 159	TR20 28
	HL/HD	15,5	WS1,0 0,6	CS(10/Y)150 192	TR20 27
4 4 1-BP	HD	15,5	WS2,0 1,7	CS(10/Y)150 196	TR30 30
	HL/HD	10,9	WS1,0 0,5	CS(10/Y)150 188	TR40 42
4 4 1-IN	HD	22,5	- 3,0	CS(10/Y)150 225	TR30 30
	HL/HD	17,8	WS1,0 0,5	CS(10/Y)150 214	TR40 43
4 4 1-CH	HD	25,4	WS2,0 2,0	CS(10/Y)150 168	TR20 24
	HL/HD	19,4	WS1,0 0,7	CS(10/Y)150 189	TR20 24

In einem abschließenden Versuch wurde im Heißluft-/Heißdampfverfahren ein Bindemittel auf Disaccharidbasis untersucht. Ziel war es, ein Nebenprodukt der Lebensmittelindustrie – Ultralac Powerbond 6000® der Firma Biolac-MTS GmbH (Lamspringe) – für die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen anzupassen und zu optimieren. Hierzu wurde das Saccharid-basierte Bindemittel sowohl enzymatisch als auch chemisch modifiziert. Beide Behandlungsansätze zielten darauf ab, den Schmelzpunkt des Disaccharids zu senken und so die Verarbeitbarkeit im thermischen Prozess zu verbessern. Die enzymatische Behandlung hatte die Aufspaltung der Disaccharidstruktur in Monosaccharide zum Ziel, während durch die chemische Modifikation mittels Natriumhydroxid (NaOH) eine Isomerisierung des Disaccharids induziert werden sollte. Die Herstellungsparameter der hergestellten Platten sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Herstellungsparameter für Disaccharid-Bindemittel gebundene Dämmstoffe im Heißluft/Heißdampfverfahren.

Herstellungsverfahren	Heißluft-/Heißdampfverfahren	
Parameter	Temperatur [°C]	Zeit [s]
Heißluft	130	>bis erreichen von 130°C Platteninnentemperatur
Heißdampf	150	15
Rohdichte [kg/m ³]	160	
Dicke [mm]	40	
Beleimungsgrad atro [%]	15	

Bei der Untersuchung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften der hergestellten Platten – insbesondere hinsichtlich Querzugs- und Druckfestigkeit sowie kurzzeitiger Wasseraufnahme – zeigte sich ein differenziertes Bild. Die Proben, deren Bindemittel enzymatisch behandelt wurde, wiesen signifikant erhöhte Zug- und Druckfestigkeiten im Vergleich zur unbehandelten Referenz auf. Gleichzeitig verschlechterte sich jedoch die Wasseraufnahme deutlich. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die durch enzymatische Spaltung entstandenen Monosaccharide eine höhere Hydrophilie aufweisen als das ursprüngliche Disaccharid. Die mit NaOH behandelten Proben zeigten insgesamt keine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften. Insbesondere die Wasseraufnahme fiel mit etwa 30 kg/m² am höchsten aus, was auf eine ungünstige Wechselwirkung zwischen der isomerisierten Struktur und dem Faserverbund hinweisen könnte. Eine Übersicht der gemessenen Platteneigenschaften ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Ergebnisübersicht des Bindemittelversuchs mit einem Disaccharidbindemittel.

Variante	Querzugfestigkeit	Druckfestigkeit	Wasseraufnahme
	[kPa]	[kPa]	[kg/m ²]
Referenz	4,34	64,46	4,27
Enzymatisch	11,16	116,94	24,91
Chemisch	4,27	40,39	30,96

Weitere Untersuchungen zeigten, dass die ausschließliche Verwendung von Heißluft bei der Herstellung zu einem spröden Plattenwerkstoff mit unzureichenden mechanisch-physikalischen sowie chemischen Bindungseigenschaften führt. Auch Platten, die im reinen Heißdampfverfahren gefertigt wurden, wiesen insgesamt geringere Festigkeiten und schlechtere Bindungseigenschaften auf. Dies wurde vor allem auf den hohen Feuchtigkeitsgehalt der Werkstoffe zurückgeführt, der sich negativ auf die strukturelle Integrität der Platten auswirkt.

Die geplante kontinuierliche Pilotanlage zur Herstellung von Holzfaserdämmstoffplatten im Heißluft-/Heißdampfverfahren bietet die Möglichkeit, diese und weitere Probleme aus dem diskontinuierlichen Batch-Prozess zu vermeiden. Durch die Überführung in einen kontinuierlichen Prozess können die einzelnen Prozessschritte unmittelbar aufeinander folgen bzw. sich teilweise überlagern. Dies führt zu verkürzten Verweilzeiten in den Prozesszonen und reduziert zugleich den Energiebedarf im gesamten Herstellungsprozess.

In enger Abstimmung zwischen den beteiligten Forschungseinrichtungen wurden weitere zentrale Randbedingungen für die Versuchsanlage definiert. Diese betreffen sowohl das zu fertigende Produkt als auch die Gestaltung und Auslegung der Gesamtanlage:

- Breite des Förderbands bzw. des Plattenmaterials: 500 mm
- Länge des kontinuierlich gefertigten Prüfkörpers: 800 mm
- Vorgesehene Streudichten: zwischen 80 kg/m² und 200 kg/m²
- Übergabe in die Heißluft-/Heißdampfzone: erfolgt mit einem vorverdichteten Streukuchen (elastisch verdichtet auf Enddichte)
- Messgröße zur Prozessüberwachung: Kerntemperatur des Materials, als Indikator für Aushärtungsgrad und Produktqualität
- Technische Infrastruktur: Ein geeigneter Aufstellort wurde ausgewählt und hinsichtlich verfügbarer Anschlüsse (elektrisch, pneumatisch etc.) sowie räumlicher Randbedingungen spezifiziert. Ein entsprechendes Hallenlayout wurde erstellt.

Die Rahmenbedingungen umfassen hierzu eine ausreichende Größe der zu fertigenden Dämmstoffe als auch dessen Zielrohdichten sowie eine den Aufstellort angepassten Konstruktionsgröße.

Im Rahmen eines Besuchs bei der Firma Naturbaustoffe Huppenberger in Riedlhütte, einem Hersteller von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, fand ein umfassender Erfahrungsaustausch zum Betrieb kontinuierlicher Anlagen statt. Dieser Austausch lieferte wertvolle Erkenntnisse über den Stand der Technik und diente als Grundlage für die konzeptionelle Weiterentwicklung und den technischen Nachweis des geplanten kontinuierlichen Prozesses.

Aus diesen Gesprächen und den intern erarbeiteten Anforderungen wurde die in Tabelle 9 dargestellte Anforderungsliste abgeleitet.

Tabelle 9: Anforderungsliste

Änderungs- datum, Ersteller (Namenskürzel)	Anforderungsliste Projekt Heißluft-/Heiß- dampfverfahren		Stand:10.05.2023
	F/W	Anforderung	Verantwortlich: BUG TUC
Allgemeine Anforderungen an die Anlage			
30.06.2021, rr	F	Anpassung der Anlage i.A. der Eingangparameter: - Streudichte zwischen 80 und 200 kg/m ³ - Verdichtungsgrad wird bestimmt durch Dicke und Dichte	TUC
23.04.2021, rr	F	Zieltemperaturen und Temperaturprofile werden aus Batchversuchen abgeleitet.	TUC
23.04.2021, rr	F	Die Kerntemperatur ist das Zielkriterium	TUC
23.04.2021, rr	F	maximale Anlagengröße entsprechend Aufstellungsplan / Hallenlayout	TUC

Änderungs- datum, Ersteller (Namenskürzel)	Anforderungsliste Projekt Heißluft-/Heiß- dampfverfahren		Stand:10.05.2023
	F/W	Anforderung	Verantwortlich: BUG TUC
23.04.2021, rr	F	Die Anlage läuft im prototypischen Betrieb, daher kurze Laufzeiten zu erwarten	TUC
01.06.2021, rr	F	Breite des zu fertigenden Gutes 500mm	TUC
01.09.2021, rr	F	Definition einer Prüfkörperlänge von 800 mm -- > längste Zone = 800 mm	TUC
10.09.2021, rr	F	Energiemenge an Heißdampf 5870 kJ für 560*560*6 mm Vlies	TUC
01.12.2021, rr	F	Nutzung eines Modulfließbandes für Hochtemperaturanwendung. Gewähltes Band: Forbo Siegling Modulband Serie 8 PA-Hochtemperatur	TUC
10.12.2021, rr	F	Antriebstechnik: Antrieb der Transportwellen mit 0,75kW ASM-Motor und Frequenzumrichter zur Drehzahlsteuerung	TUC
10.12.2021, rr	F	Frequenzumrichter mit zusätzlichen, analogen Eingangskanälen, um spätere, intelligente Temperaturführung zu implementieren	TUC
01.04.2022, rr	F	Rahmengestell aus Stahlprofil, Führungen des Transportbandes als Schweißgestell	TUC
05.04.2022, rr	F	Lagerungen mit Lagerböcken	TUC
05.04.2022, rr	F	Wellenkonstruktion mit Abstandshülsen zwischen Forbo Antriebssprockets	TUC
10.04.2022, rr	F	Antriebstechnik: Motor und Sprocket werden mit zweireihiger Zahnkette und Reserve für Antrieb einer späteren Verdichtungseinheit verbunden. Für diese Antriebsart ist eine Spannrolle erforderlich.	TUC
Anforderungen an das Material			
03.04.2021, ab, meu		Zielkriterien des Materials werden mithilfe geeigneter Verfahren bestimmt	BUG
03.04.2021, ab	F	Bestimmung der Zug/Druckfestigkeit	BUG
03.04.2021, ab	F	Bestimmung der Querkzugfestigkeit	BUG

Änderungs- datum, Ersteller (Namenskürzel)	Anforderungsliste Projekt Heißluft-/Heiß- dampfverfahren		Stand:10.05.2023
	F/W	Anforderung	Verantwortlich: BUG TUC
03.04.2021, ab	W	Bestimmung der Wärmeleitzahl	BUG
03.04.2021, ab	W	Bestimmung des Strömungswiderstands	BUG, TUC
Anforderungen an die Prozesszonen			
26.10.2021, rr	F	Erreichen einer Zieltemperatur von 100-110°C im Kern in der Heißdampfzone	TUC
26.10.2021, ab	F	Verweilzeit in HD Zone zwischen 60 und 300s	TUC
26.10.2021, rr	F	Erreichen einer Zieltemperatur von 120-160°C im Kern in der Heißluftzone	TUC
26.10.2021, ab	F	Verweilzeit in HL Zone zwischen 5 und 10s	TUC
26.11.2021, rr	F	Einstellbarkeit des Verhältnisses zwischen Heißluftverweilzeit und Heißdampfverweilzeit	TUC
20.03.2022, rr	F	Nutzung eines vorhandenen Heißdampf-aggregates	TUC
20.03.2022, rr	F	Übergabe eines vorverdichteten, beleimten Flieses	TUC
08.05.2022, rr	F	Absaugung der Abluft zur Erhöhung der Durchströmungsleistung	TUC
F/W: [F = Festwert] [W = Wunschkriterium] Namenskürzel: [rr = Raphael Rehmet] [ab = Arne Beulshausen] [meu= Markus Euring] BUG = Burckhardt-Institut, Universität Göttingen, TUC = Technische Universität Clausthal-Z.			

Die Feuerbeständigkeit und das Brandverhalten der hergestellten Holzfaserdämmstoffe wurden im Rahmen der bisherigen Vorversuche nicht untersucht. Der Fokus lag bislang ausschließlich auf der Entwicklung eines stabilen und mechanisch belastbaren Werkstoffs.

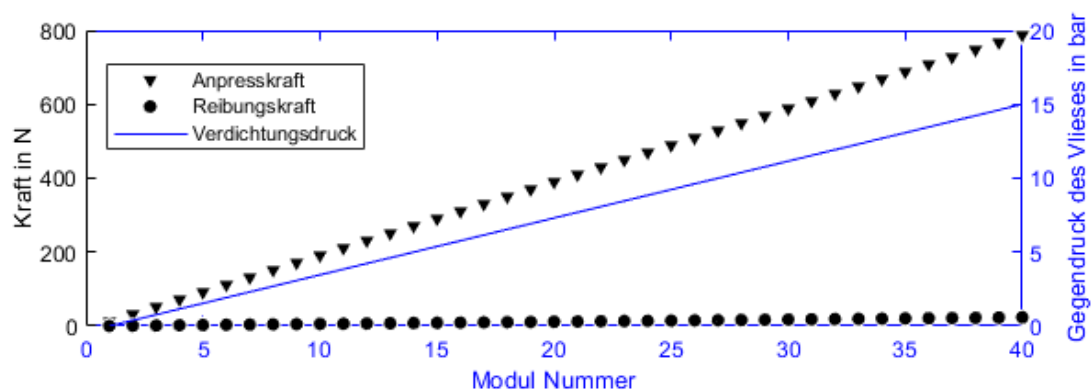
Im Rahmen eines geplanten Folgeprojekts sollen die Brandeigenschaften systematisch analysiert werden. Hierzu ist vorgesehen, mit Flammenschutzmitteln behandelte Holzfasern sowohl im bestehenden Batch-Verfahren als auch im neu entwickelten teilkontinuierlichen Prozess zu verarbeiten. Ziel ist es, die Wirksamkeit verschiedener Flammschutzkonzepte unter realen Verarbeitungsbedingungen zu evaluieren und gegebenenfalls an die spezifischen Anforderungen des Heißluft-/Heißdampfverfahrens anzupassen.

AP 2 Simulation

Basierend auf den Untersuchungen in Arbeitspaket 1 (AP1) wurden grundlegende Abschätzgleichungen und Zusammenhänge entwickelt und bewertet, um eine fundierte Basis für die anschließende

Entwicklung zu schaffen. Dabei wurde unter anderem ermittelt, wie sich anhand der Kenndaten zu den Durchströmungszeiten die erforderlichen Längen der einzelnen Prozesszonen bestimmen lassen. Diese Erkenntnisse ermöglichen es, die im Batchprozess erzielten Ergebnisse realistisch auf eine kontinuierliche Produktionsanlage zu übertragen. Für die Auslegung des Modulbands ist die Zugkraft im Band relevant, die wie folgt abgeschätzt wurde. Das Fließ wird verdichtet an die Heißluft-Heißdampfzone übergeben. Zur späteren Erweiterung der Anlage um eine kontinuierliche Verpressung — die im aktuellen Projekt zwar nicht umgesetzt, aber berücksichtigt werden soll — kann anhand der Bandbreite und des beim Verpressen entstehenden Gegendrucks die notwendige Anpresskraft auf das Förderband bestimmt werden. Aus dieser Anpresskraft lässt sich unter Berücksichtigung eines üblichen Reibwertes die resultierende Zugkraft im Förderband berechnen (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Kraftabschätzung Förderband



Anschließend können die einzelnen Reibkräfte addiert werden, da diese von den Modulen als Zugkraft übertragen werden. Mit der ermittelten Zugkraft von 500 N konnte ein geeignetes Transportband ausgewählt werden, das zudem einen Öffnungsgrad aufweist, der mit dem des Durchströmungsgitters im Batch-Prozess vergleichbar ist.

Darüber hinaus wurde eine Untersuchung zur Auslassgeometrie der späteren Heißluft- bzw. Heißdampfanlagen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Durchmesser und Anzahl der Bohrungen in den Lanzen untersucht. Die Luft- bzw. Dampfströmung über die Breite der jeweiligen Lanze wurde in m/s simuliert (siehe Abbildung 6 bis Abbildung 8). In der Simulation wurde Luft oder Dampf mit konstanter Geschwindigkeit und definiertem Druck seitlich in die Lanze eingeleitet, wobei die Austrittsgeschwindigkeit an den Bohrungen in m/s erfasst wurde. Es zeigte sich, dass die Strömungsgeschwindigkeiten gegen Ende der Lanze abnehmen, und dieser Effekt mit zunehmender Anzahl der Bohrungen verstärkt wird. Daher wird empfohlen, wie in Abbildung 8 dargestellt, ein unterschiedliches Muster der Bohrungsgrößen einzusetzen.

Abbildung 6: Auslassbohrungen n= 49 (1mm)

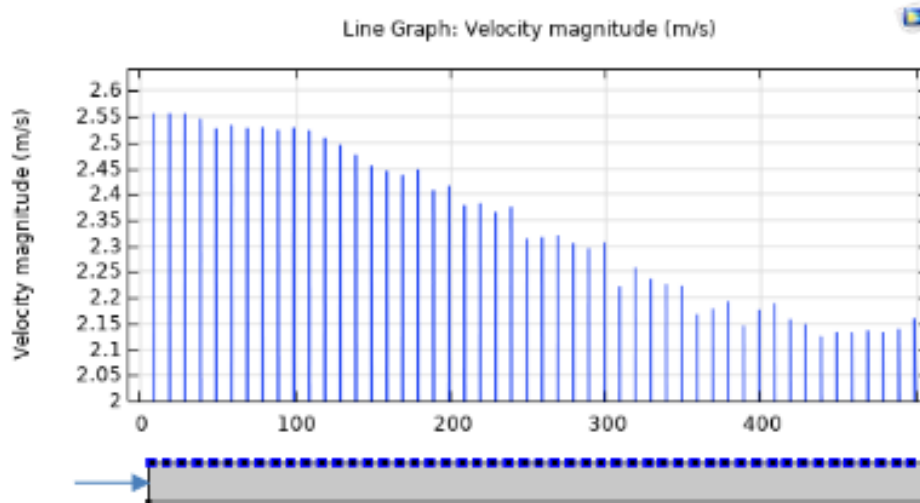


Abbildung 7: Auslassbohrung n=25 (1mm)

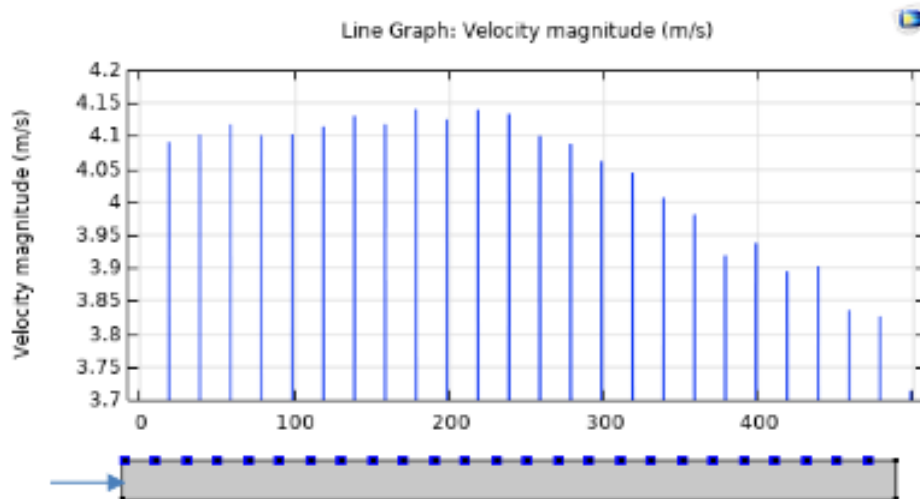
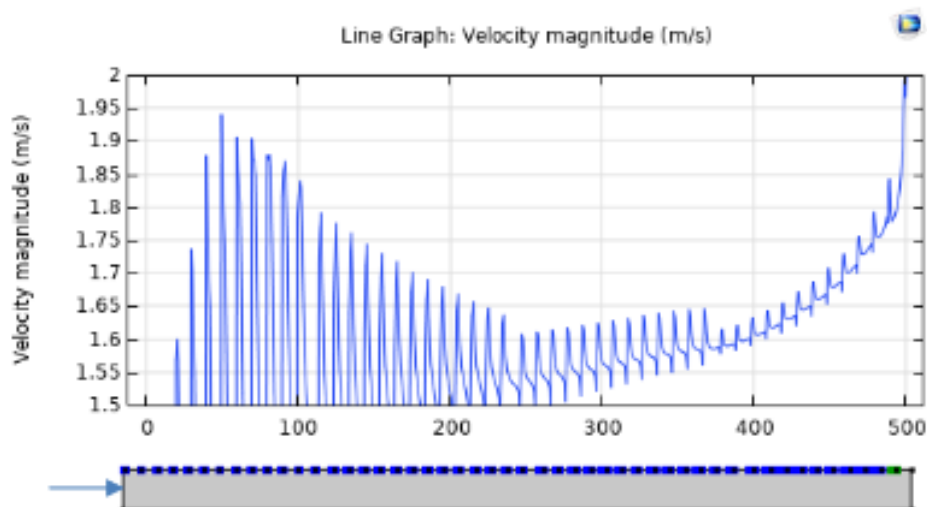


Abbildung 8: Auslassbohrungen n=49 (1-4mm)



MS 1 Konzeption

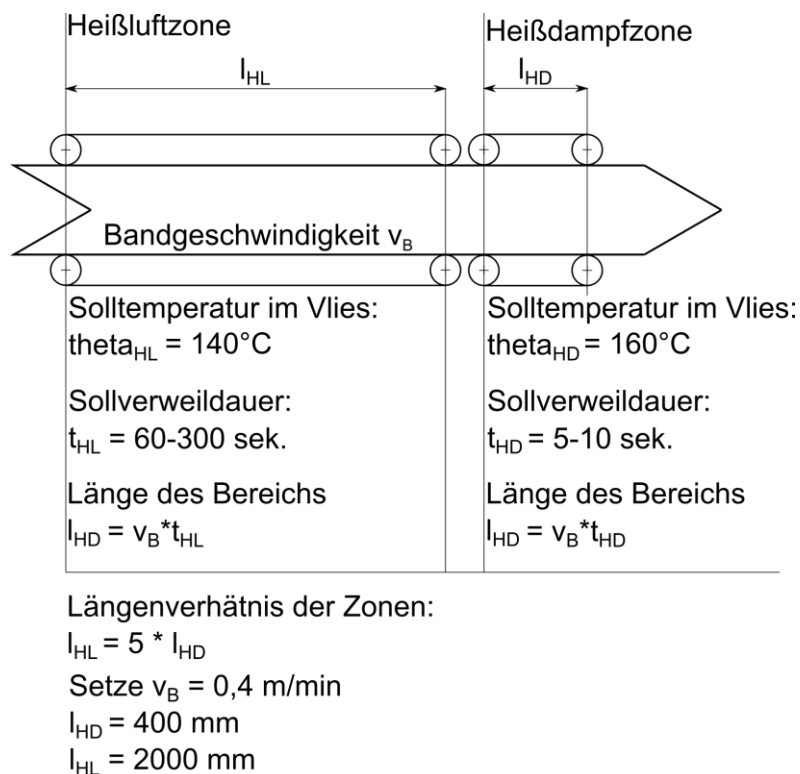
Prozessführung/Simulation

Meilenstein 1 wurde erfolgreich erreicht und abgeschlossen. Grundlage hierfür bildeten die durchgeführten Voruntersuchungen, Simulationen und die daraus gewonnenen Parameter zur Prozessführung.

AP 3 Entwurf und Konstruktion

Für den Batchprozess wurde festgelegt, wie die Abfolge der Durchströmungen mit Heißluft und Heißdampf gestaltet sein muss, um eine vollständige Aushärtung des natürlichen Bindemittels zu gewährleisten. Dabei werden unter anderem unterschiedliche Durchströmungsdauern angegeben, die notwendig sind, um die spezifische Abhängigkeit der Kerntemperatur von Dichte und Dicke des Faserkuchens zu erreichen. Auf Basis der in AP1 ermittelten Daten lässt sich die Länge der Prozesszonen abschätzen (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9: Anlagenschema und Abschätzung der Prozesszonen



Die Findung neuer konstruktiver Lösungen für Teilprobleme erfordert zunächst das Loslösen von Vorannahmen und eine Abstraktion der zugrundeliegenden Vorgänge. So wird beispielsweise aus dem Teilproblem „Durchströmung mit Heißluft“ im aktuellen Arbeitsschritt die Zielsetzung „Erreichen einer Kernzieltemperatur“, um von Anfang an keine möglichen Lösungsansätze auszuschließen.

Aus dieser Abstraktion lassen sich mehrere, für die Konstruktion der Anlage wichtige Schlussfolgerungen und konstruktive Anforderungen ableiten, die bei der Auswahl und Entwicklung der Lösungen berücksichtigt werden müssen:

- Die Dichte der Platten kann variiert werden: Die Kernanforderung an die Anlage besteht darin, ein kontinuierliches Faservlies mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit durch die Fertigungsstrecke zu transportieren. Die Verweilzeiten in den Durchströmungszonen sind somit von dieser

Geschwindigkeit abhängig. Die Förderanlage muss daher so ausgelegt sein, dass sie unterschiedliche Dichten des Materials verarbeiten kann, indem das Verhältnis der Durchströmungszeiten von Heißluft und Heißdampf entsprechend angepasst wird.

- Die Enddicke der Platten kann variiert werden: Die Lagerung der Prozessbänder muss flexibel gestaltet werden, um den Fertigungsspalt variabel einzustellen und somit unterschiedliche Plattendicken zu ermöglichen.
- Hohe Pressung durch vorverdichtetes Material: Durch die Elastizität des vorverdichteten Holzfaserkuchens entsteht eine erhebliche Presskraft auf die Förderbänder und deren Lagerung, die bei der Konstruktion berücksichtigt werden muss.

Diese und weitere Anforderungen wurden in einer Anforderungsliste zusammengefasst, welche als Basis für die detaillierte Auskonstruktion dient (vgl. Tabelle 9).

Das Anlagenschema sieht eine Durchströmung mit Heißluft und Heißdampf vor. Um diesen Prozess in einen kontinuierlichen Vorgang umzusetzen, wurden verschiedene Möglichkeiten hinsichtlich der Umsetzbarkeit und der zu erwartenden Funktionsfähigkeit geprüft:

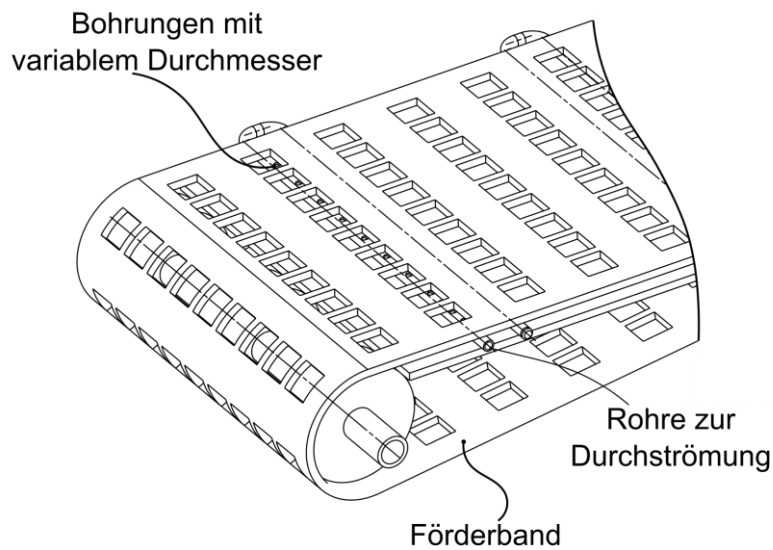
- Bewegliche Prozesszonen, die mit dem Gut mitfahren und dieses mit dem entsprechenden Medium durchströmen.
- Transport des Vlieses durch Nagelband (formschlüssig) durch statische Prozesszonen. Das Gut wird hierbei über (Edel-)Stahlplatten bewegt
- Transport mit durchlässigen Prozessbändern vgl. Abbildung 10

Im Zuge der Evaluierung zeigte sich, dass durch den hohen Verdichtungsgrad – bedingt durch den im Batchprozess eingesetzten hydraulischen Druck von bis zu 15 bar – die Reibkräfte größer sind als die Zugfestigkeit des noch nicht ausgehärteten Materials. Daraus folgt, dass eine durchgängige Kontaktfläche über die gesamte Breite des Vlieses zum Antrieb notwendig ist. Um die Reibung dennoch zu minimieren, wird daher ein strömungsdurchlässiges Förderband verwendet.

Die Anforderung einer variablen Enddicke (Spaltweite) des Materials verlangt zudem eine Längenverstellung des Förderbands, um unterschiedliche Zustellungen des oberen Bandes kompensieren zu können. Dafür wird ein modulares Förderband eingesetzt, das in Segmenten trennbar ist.

Zur Erzeugung der Heißluft- und Heißdampfdurchströmung stehen ein Lufterhitzer sowie ein Dampferzeuger zur Verfügung. Um die Prozesszonen entlang der Fertigungsstrecke möglichst flexibel zu gestalten, wurde die ursprünglich geplante Verwendung von wechselbaren Lochplatten als Durchströmungselemente verworfen. Stattdessen erfolgt die Luft- und Dampfdurchströmung über Düsenlanzen, welche eine bessere Steuerung und Verteilung des Mediums gewährleisten.

Abbildung 10: Förderband mit Durchströmungseinrichtung



Das für den Einsatz vorgesehene Modulband (siehe Abbildung 11) besteht aus einem Hochleistungskunststoff auf Polyamidbasis, der speziell für den Hochtemperaturbereich ab 155 °C entwickelt wurde und eine hohe mechanische Belastbarkeit aufweist. Im Rahmen von Tests an der Batchanlage in Göttingen wurde das Modulband auf Druckbeanspruchung, Hitzebeständigkeit sowie den Bedarf an Trennmittelzugabe geprüft. Die Ergebnisse zeigten, dass das Modulband sowohl den Anforderungen an Druck- und Hitzestabilität gerecht wird als auch bislang ohne Zugabe von Trennmitteln eingesetzt werden kann. Die im Heißluft-/Heißdampfverfahren hergestellten Dämmstoffplatten wiesen keine Oberflächenunregelmäßigkeiten wie etwa Ausrisse nach Abnahme des Modulbandes auf (vgl. Abbildung 12). Selbst nach längerer Hitzebehandlung bei Temperaturen bis zu 170 °C blieb die Funktionalität und Beweglichkeit des Modulbandes uneingeschränkt erhalten. Aufgrund dieser positiven Versuchsergebnisse kann das Modulband problemlos in der geplanten kontinuierlichen Anlage eingesetzt werden.

Abbildung 11: Einzusetzendes Modulband der Serie 8 von Forbo Siegling GmbH (Hannover)

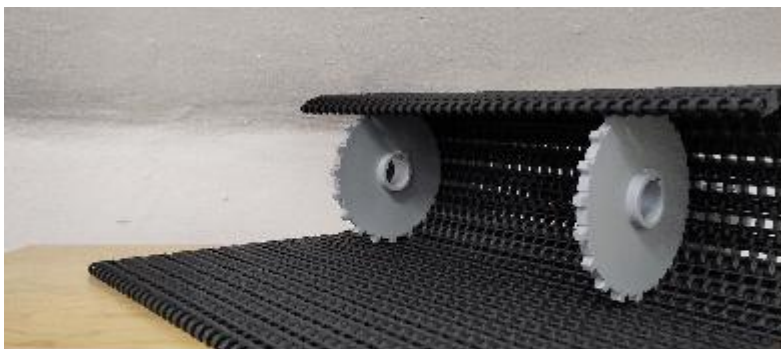
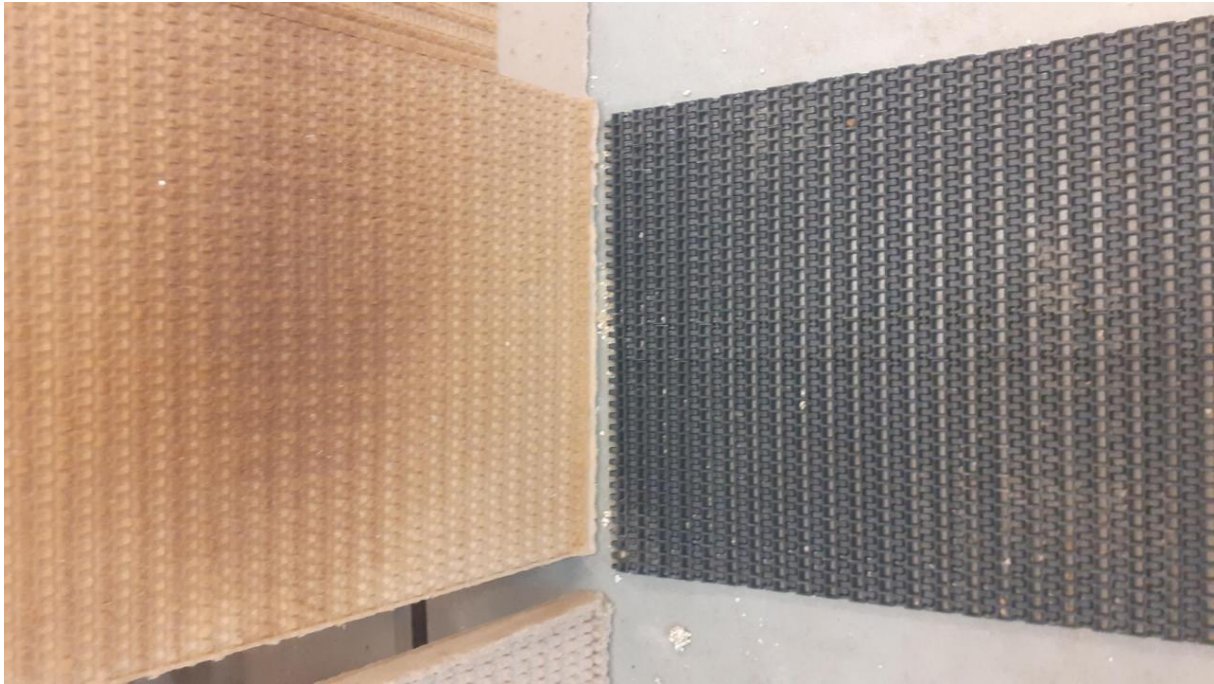
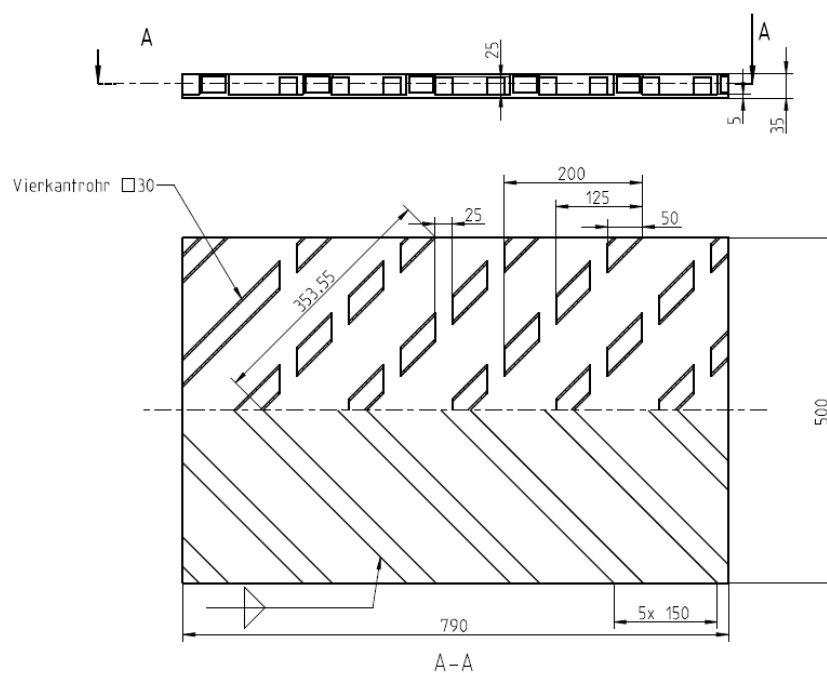


Abbildung 12: Hergestellte Dämmstoffplatte mit abgenommenen Modulband.



Im Anschluss wurden für die Modulbänder Führungsbleche nach Herstellerangaben konstruiert. Diese Führungsbleche besitzen ein V-Profil, das eine optimale Führung des Modulbandes gewährleistet. In die V-Profile wurden Aussparungen eingearbeitet, um die Düsenlanzen präzise zu führen (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13: Bauzeichnung: Führungsblech mit Aussparungen für Düsenlanzen



Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-m

M 1:5

Des Weiteren wurden die Antriebs- und Führungswellen für die Modulbänder sowie der Kettenverlauf, Halterungen und das Grundgestell konstruiert. Aus den einzelnen Zeichnungen entstand eine Baugruppe (siehe Abbildung 14), die mithilfe einer CAD-Software in ein digitales 3D-Modell überführt wurde (siehe Abbildung 15). Anhand dieses Modells wurde die Antriebsmechanik der Anlage für die spätere Montage in Göttingen angepasst.

Abbildung 14: Baugruppe für semi-kontinuierliche Versuchsanlage.

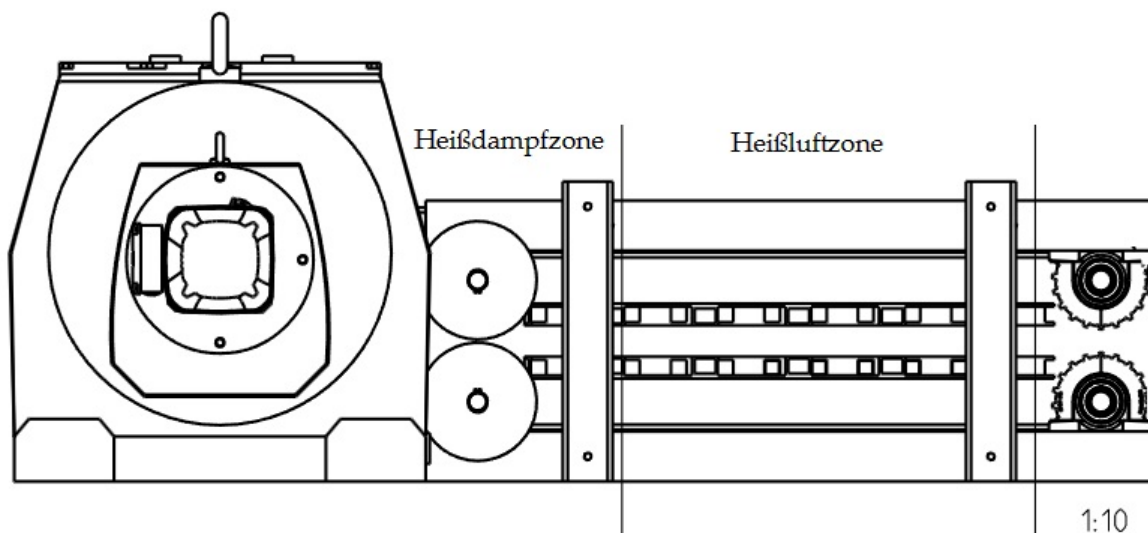
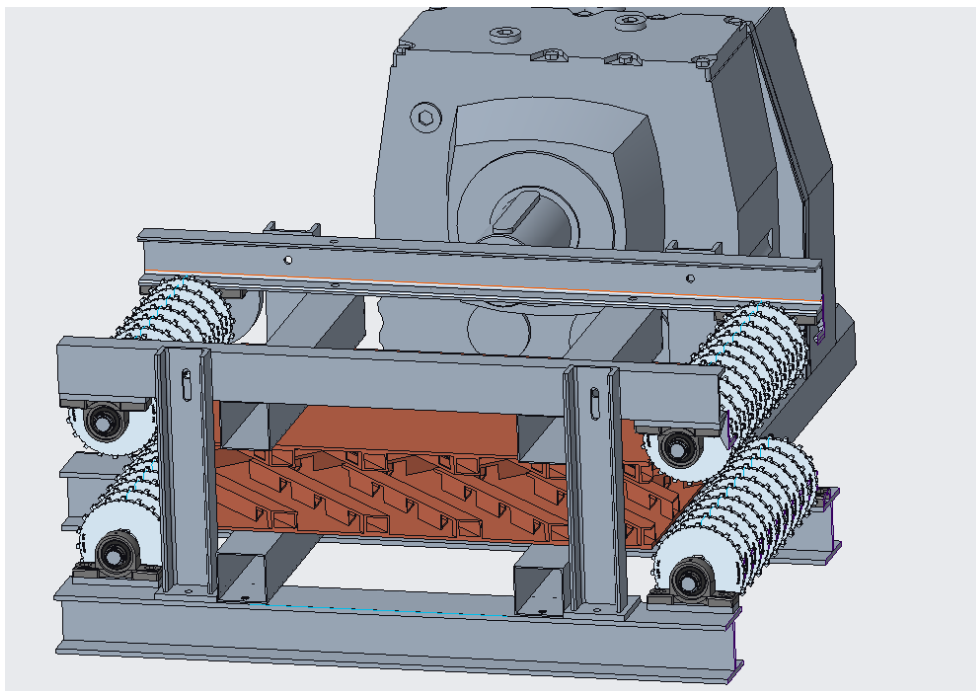


Abbildung 15: CAD-Modell der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage.



Der aus dem Konzept entwickelte Konstruktionsplan wurde anschließend mit den in Göttingen gewonnenen Daten abgeglichen. Auf dieser Grundlage wurden die notwendigen Prozessparameter sowie die Teilkomponenten für die Versuchsanlage festgelegt. Für die anfängliche Anlage fiel die Entscheidung zugunsten eines 11 kW Heizaggregats statt eines ursprünglich geplanten 16 kW Heizlüfters, da der Luftstrom als entscheidender Faktor für das Temperaturprofil identifiziert wurde. Die Aufteilung der Düsenlanzen wurde in Absprache beider Projektpartner auf insgesamt 9 Düsenlanzen

festgelegt, mit einem Verhältnis von 6 zu 3. Das bedeutet, dass 6 Düsenlanzen für Heißluft und 3 Düsenlanzen für Heißdampf vorgesehen sind. Diese Düsenlanzen können in der montierten Versuchsanlage das Medium entweder von der Ober- oder der Unterseite in die Dämmstoffplatte einbringen. Dadurch soll eine unerwünschte Zweiseitigkeit vermieden werden, wie sie in den Vorversuchen im Batchprozess beobachtet wurde. Zur Steuerung wurden separate Ventilinseln für Dampf und Heißluft konstruiert, welche jeweils einzeln schaltbare Anschlüsse besitzen.

Meilenstein 2 (MS 2):

Meilenstein 2 ist erreicht. Die Prozessplanung für die Versuchsanlage wurde erfolgreich konzipiert, umgesetzt und die erforderlichen Teilkomponenten wurden bestellt.

Phase II: Diese Phase umfasst den Bau der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage auf Basis der Erkenntnisse aus Phase I. Die Arbeiten an Phase II wurden bereits begonnen, während Phase I noch lief.

AP 4 Fertigung und Montage

Aufgrund der pandemiebedingten Einschränkungen sowie starker Lieferengpässe im Stahl- und Elektrotechnikbereich kam es zu Verzögerungen im Arbeitspaket 4 (AP4). In der Anfangsphase konnten daher zunächst nur kleinere Komponenten, wie etwa die Antriebswellen der Modulbänder, gefertigt werden. Im weiteren Projektverlauf konnten jedoch sämtliche benötigten Bauteile beschafft bzw. hergestellt werden. Das Modulband aus dem Hochleistungskunststoff PA-HT wurde in ausreichender Menge sowie passgenauer Ausführung bei der Firma Forbo bestellt – inklusive der zugehörigen Antriebs- und Laufrollen. Die Antriebs- und Laufrollen wurden gemäß Konstruktionsplan gefertigt und mit den Modulbändern zur Baugruppe der Heißluft-/Heißdampfeinheit zusammengeführt. Die Führungsbleche mit V-Profil – wie in Abbildung 13 dargestellt – wurden entsprechend ausgeführt und gemeinsam mit den übrigen Komponenten zur Hauptbaugruppe der Versuchsanlage montiert (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16: Montierte Versuchsanlage.



Für die Luftzufuhr wird ein Radialverdichter mit einem Volumenstrom von $12\text{ m}^3/\text{min}$ eingesetzt (siehe Abbildung 17). Die Erzeugung der Heißluft erfolgt über ein 11 kW-Heizaggregat, das bei Bedarf durch ein vorhandenes 16 kW-Aggregat ersetzt werden kann. Das Heizgerät der Firma Leister wurde auf einem fahrbaren Gestell montiert, um eine einfache Integration und Montage am Standort Göttingen zu ermöglichen. Zur gezielten Steuerung des Heißluftstroms wurde eine Ventilinsel mit sechs separat schaltbaren Anschlüssen am Heizelement installiert (siehe Abbildung 18). Für die Erzeugung des Heißdampfes kommt ein 24 kW-Heißdampferzeuger vom Typ Maxi 24 der Firma GHIDINI BENVENUTO S.R.L. zum Einsatz (siehe Abbildung 19). Das Gerät verfügt über einen 24-Liter-Kessel und arbeitet in einem variablen Betriebsdruckbereich zwischen 1 und 7 bar. Die zugehörige Ventilinsel wurde eigens angefertigt und passgenau in das Anlagengestell integriert (siehe Abbildung 20).

Abbildung 17: Radialverdichter mit 0,3 KW Antrieb und einem Volumenstrom von $12\text{ m}^3/\text{min}$.



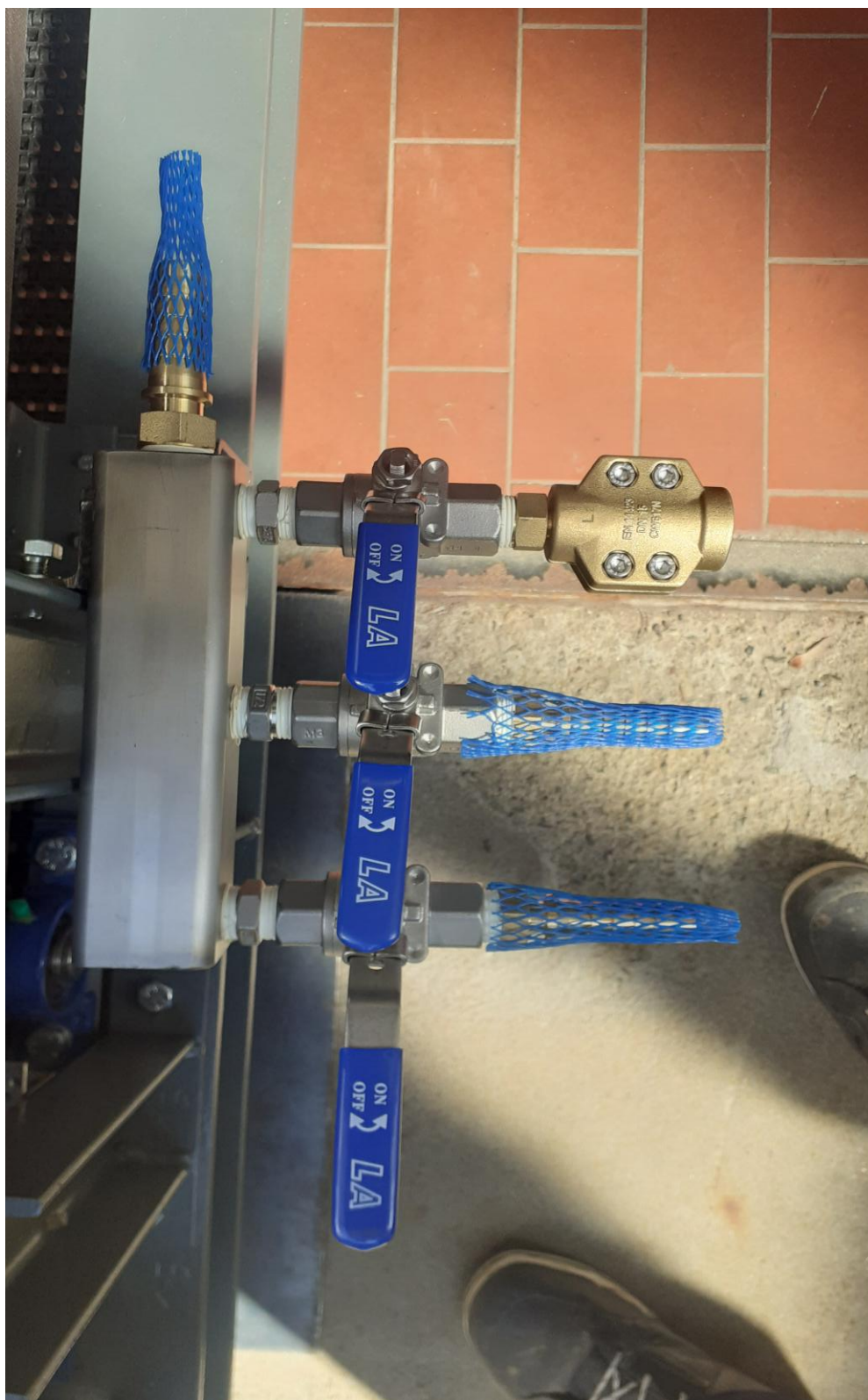
Abbildung 18: Heizaggregat des Typs LHS61L der Fa. Leister Technologies Deutschland GmbH (Wuppertal) mit montierter Ventilinsel.



Abbildung 19: Dampferzeuger des Typs GHDINI Maxi 24; Ghidini Benvenuto Srl. (Giuliano Milanese; Italien)

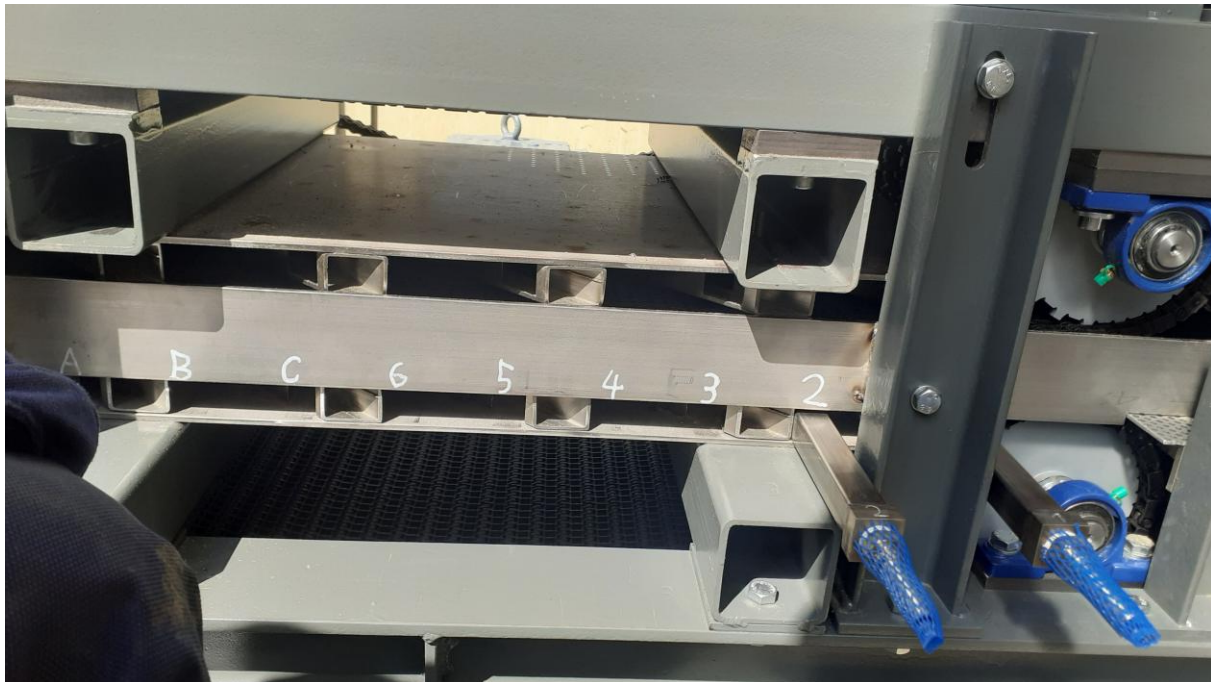


Abbildung 20: Heißdampfventilinsel



Im Zuge der Fertigung wurden die Düsenlanzen überarbeitet und auf die Geometrie der V-Profile in den Führungsblechen der Modulbänder abgestimmt. Zu Beginn wurde eine standardisierte Düsenbohrung mit einem Durchmesser von 6 mm gewählt. Diese Bohrungsgröße dient als Ausgangsbasis und kann im Rahmen der folgenden Versuchsreihen bei Bedarf angepasst und optimiert werden. Für eine gleichmäßige und gezielte Verteilung des jeweiligen Mediums (Heißluft oder Heißdampf) wurden die Düsenlanzen individuell an ihre jeweilige Führungsposition angepasst und nummeriert. Dies gewährleistet eine eindeutige Zuordnung und trägt zur reproduzierbaren Prozessführung bei (siehe Abbildung 21).

Abbildung 21: Führungsbleche mit Düsenlanzen.



Die Antriebseinheit der Versuchsanlage wurde mit einem 0,75 kW SEW-Motor der Firma SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG (Bruchsal) in Kombination mit einem Stirnradgetriebe realisiert. Um die für den Prozess erforderliche niedrige Fördergeschwindigkeit zu erreichen, wurde zusätzlich ein Frequenzumrichter vorgesehen. Aufgrund von Lieferverzögerungen konnte der ursprünglich bestellte Umrichter jedoch nicht rechtzeitig eingebaut werden und wurde vorläufig durch ein vorhandenes Ersatzgerät ersetzt. Die Nachrüstung des vorgesehenen Umrichters erfolgt nach dessen Lieferung. Für den Antrieb der Modulbänder wurden seitlich an der Anlage Kettenläufe mit Kettenspannern installiert. Zum Schutz der mechanischen Komponenten sowie zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit wurde zudem eine Schutzverkleidung angebracht (siehe Abbildung 22). Zusätzliches benötigtes Material wie Schläuche, Schellen, elektrische Leitungen, Anschlüsse, Messtechnik, Stahlkomponenten, Zahnräder sowie weitere Antriebs Elemente wurden durch die TU Clausthal in enger Abstimmung mit der Universität Göttingen beschafft. Die vollständige Montage der Versuchsanlage erfolgte an der TU Clausthal. Für den späteren Einsatz am Standort Göttingen wurde die Anlage um eine Absaughaube ergänzt. Diese ermöglicht die Anbindung an das Abluftsystem des Göttinger Biotechnikums und sorgt somit für einen sicheren Betrieb unter realen Versuchsbedingungen (siehe Abbildung 23).

Abbildung 22: Antriebsmechanik der Versuchsanlage.

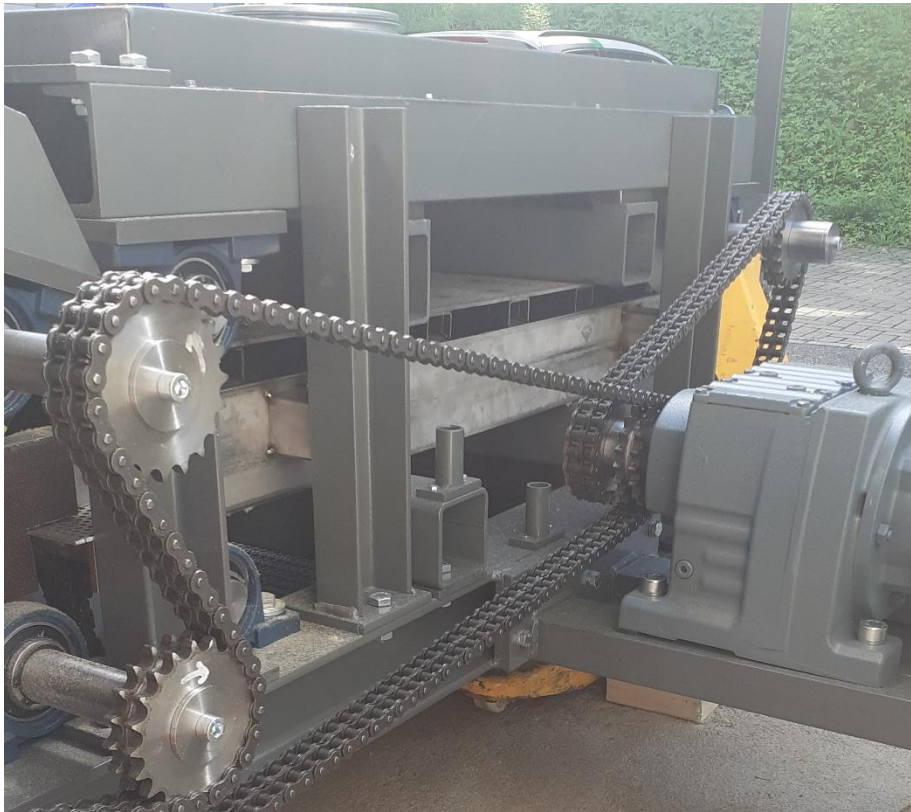
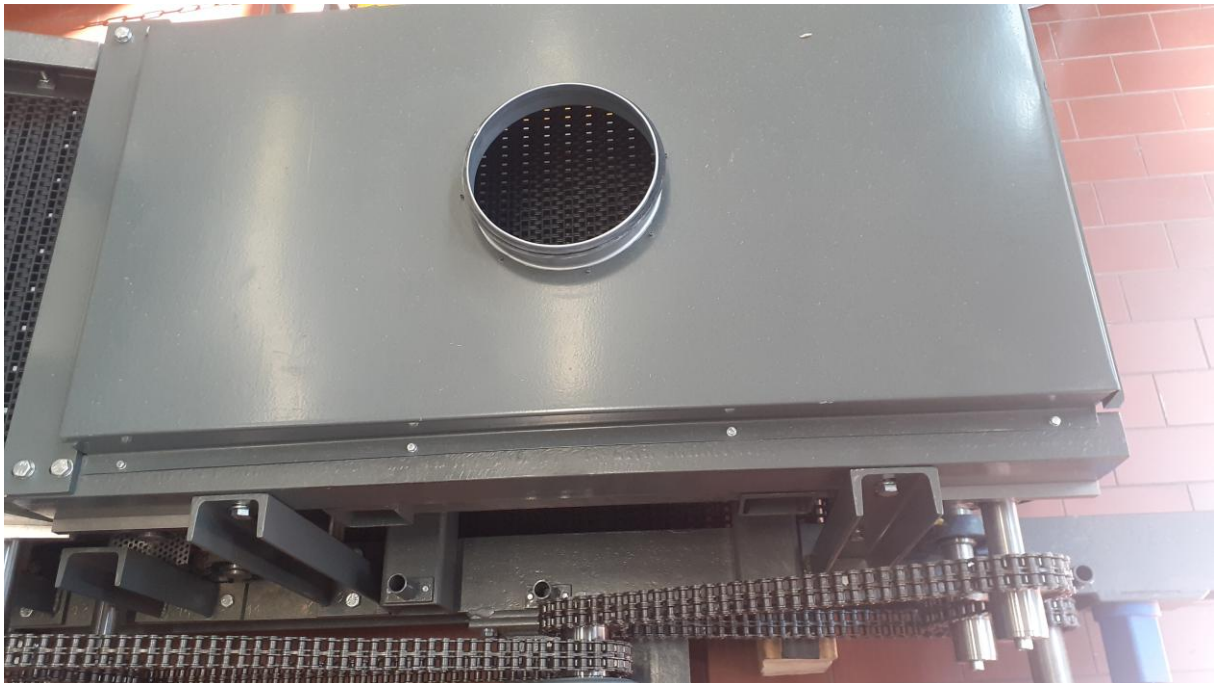


Abbildung 23: Absaugungshaube mit DIN200-Anschluss.



AP 5 Versuchsdurchführung

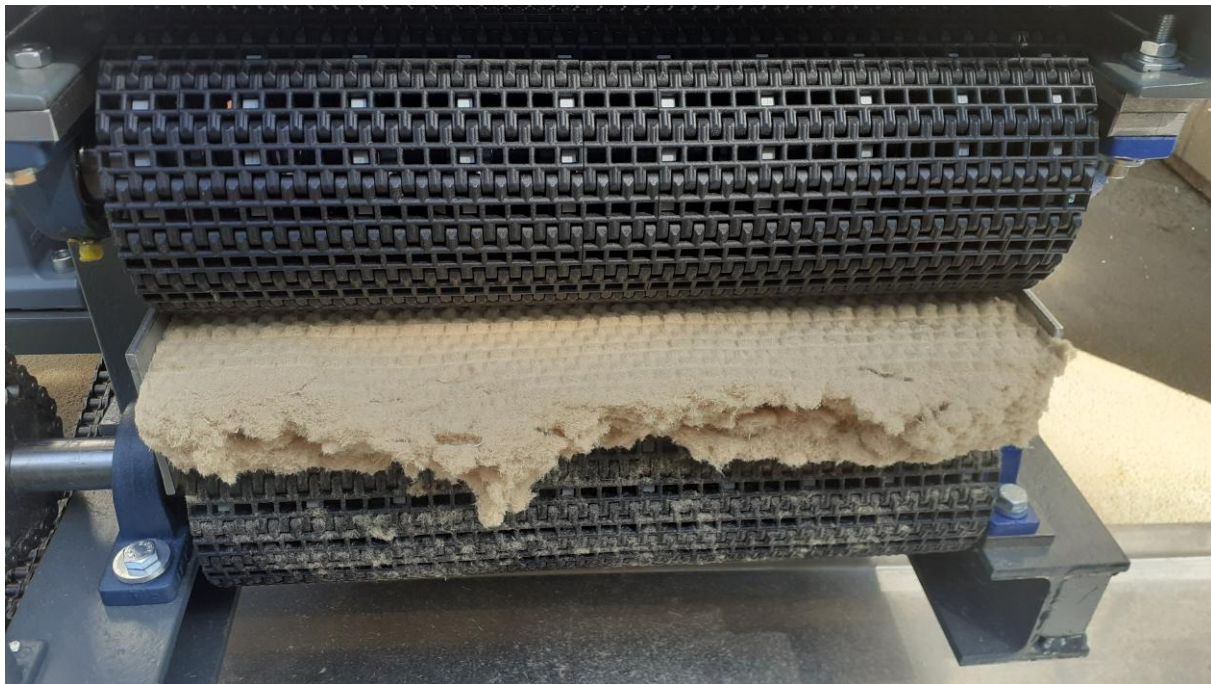
Die Funktionsprüfung der Versuchsanlage wurde am Standort Clausthal durchgeführt.

Zunächst erfolgte ein Testlauf ohne vorverdichtetes Dämmstoffvlies – stattdessen wurde eine 40 mm starke Kunststoffplatte verwendet (siehe Abbildung 24). Anschließend fand in Zusammenarbeit mit den Partnern der Universität Göttingen ein Versuchslauf mit Holzfasern statt. Dabei zeigte sich, dass es schwierig war, ein vorverdichtetes Faservlies mit einer Enddicke von 40 mm und einer Zielrohddichte von 160 kg/m^3 in die Anlage einzuführen, ohne dass es zu Beschädigungen oder einem Zerreißen des Vlieses kam. Faservliese mit geringerer Zielrohddichte (ca. 120 kg/m^3) ließen sich hingegen deutlich einfacher handhaben. Trotz dieser Herausforderungen kann der Versuchslauf insgesamt als erfolgreich gewertet werden: Selbst ohne den Einsatz von Heißluft oder Heißdampf konnte die Anlage einen stabilen Faserverbund erzeugen, der in seiner Struktur einer Dämmstoffplatte ähnelte (siehe Abbildung 25).

Abbildung 24: Fahrversuch mit 40mm Kunststoffplatte.



Abbildung 25: Fahrversuch mit Holzfasern. Verdichtetes Faservlies am Ende der Versuchsanlage mit einer Rohdichte von ca. 150-160 kg/m³.



Weitere Versuche konnten aufgrund der erheblichen Verzögerungen im Projektverlauf – bedingt durch lange Lieferzeiten und die Einschränkungen während der Corona-Pandemie – nicht mehr durchgeführt werden. Einer Überführung und Montage der Versuchsanlage an den Standort Göttingen sowie der Durchführung weiterer Versuchsreihen stand jedoch grundsätzlich nichts im Wege. Die geplanten weiteren Untersuchungen sollen in Göttingen erfolgen, da der Einsatz teils synthetischer Bindemittel wie pMDI spezielle Sicherheitsvorkehrungen erfordert, die am Standort Clausthal nicht in ausreichendem Maße gewährleistet werden können. Trotz der begrenzten Versuchsanzahl konnten aus den bisher durchgeführten Fahrversuchen bereits erste Erkenntnisse gewonnen und Optimierungspotenziale identifiziert werden. Diese flossen in die Ableitung technischer und verfahrenstechnischer Parameter ein, die für die spätere Entwicklung eines kontinuierlich arbeitenden Prototyps von Bedeutung sind. Weitere Feinjustierungen und Prozessanpassungen können nach dem Aufbau der Versuchsanlage in Göttingen erfolgen. Zu den bisher ermittelten Parametern für einen kontinuierlichen Prototypen zählen:

- Flexibles Steuerungskonzept
- Flexibles Messkonzept für Temperatur, Feuchte
- Adaptive Zonensteuerung Heißluft/Heißdampf abhängig von Prozessparameter
- Automatische Streuvorrichtung und Vliesbildung
- Presseinheit
- Regelung der Versuchsanlage über hybrides KI-Modell

AP 6 Abschluss, Öffentlichkeitsarbeit

Nach Rücksprache beider Projektpartner wurde entschieden, den Kontakt zu potenziellen Anlagenbauern erst nach umfangreicher Versuchsdurchführung sowie der Übertragung des Konzepts in ein kontinuierlich arbeitendes Verfahren aufzunehmen. Ziel ist es, zunächst fundierte Daten und

belastbare Ergebnisse zu generieren, um eine präzise Anforderungsdefinition für eine spätere industrielle Umsetzung zu ermöglichen.

Meilenstein 3 (MS 3):

Trotz der pandemiebedingten Verzögerungen im Projektverlauf sowie der daraus resultierenden Einschränkungen bei Materialprüfungen konnte Meilenstein 3 erfolgreich erreicht werden. Nach den erfolgreichen Funktionsprüfungen und ersten Versuchsdurchläufen am Standort Clausthal konnten wesentliche Optimierungen, relevante Prozessparameter sowie erste konzeptionelle Ansätze für die Überführung in ein kontinuierliches Herstellungsverfahren erarbeitet werden. Diese bilden die Grundlage für ein mögliches Folgeprojekt mit Fokus auf die kontinuierliche Fertigung von ökologischen Holzfaserdämmstoffen.

AP0 – Anforderungsliste und Controlling:

Die Bearbeitung des Projekts wurde durch beide Projektpartner fortlaufend dokumentiert. Dies ermöglichte eine transparente Projektstruktur, eine fortlaufende Anpassung an den zeitlichen Ablauf und eine gezielte Überwachung des Arbeitsfortschritts.

Darüber hinaus konnte durch das kontinuierliche Controlling der jeweilige Stand der Entwicklungen nachvollzogen und mit den bestehenden sowie zukünftigen Anforderungen abgeglichen werden. Dadurch wurde sichergestellt, dass alle Arbeitsschritte im Einklang mit den Projektzielen und dem Gesamtzeitplan stehen.

Beschreibung und Begründung von möglichen Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Antrag

Aufgrund pandemiebedingter Lieferengpässe, insbesondere im Bereich der Elektrotechnik, verzögerte sich die Lieferung wesentlicher Anlagenkomponenten erheblich. Infolgedessen wurde das Arbeitspaket AP4 um ein Quartal verlängert. Zusätzlich wurde eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um zwei Monate beantragt und genehmigt (vgl. Anlage 2). Diese Verlängerung war notwendig, da mehrere Bauteile erst mit mehreren Monaten Verzögerung eintrafen. Aus diesem Grund konnte die Montage der Versuchsanlage am Standort Göttingen nicht mehr innerhalb der offiziellen Projektlaufzeit umgesetzt werden. Entsprechend konnten auch keine weiteren Versuchsdurchführungen oder umfassenden Materialprüfungen erfolgen. Das bedeutet konkret: Mechanisch-physikalische Eigenschaften der hergestellten Dämmstoffplatten – wie Querkzugsfestigkeit, Druckfestigkeit oder die geplanten Brandversuche – konnten im Rahmen dieses Projekts nicht erhoben werden und müssen in ein mögliches Folgeprojekt übertragen werden. Trotz dieser Einschränkungen wurden durch die am Standort Clausthal durchgeführten Funktionsprüfungen und ersten Versuchsdurchläufe wichtige Optimierungspotenziale und technische Parameter identifiziert, die als Grundlage für die Entwicklung eines kontinuierlichen Prototyps in einem Folgeprojekt dienen können.

Ergebnisse

Zusammenführung der Zwischenergebnisse zum Endergebnis

Nach Auswertung der im Projekt definierten Ziele sowie der durchgeführten Arbeiten lassen sich die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete wie folgt zusammenfassen:

Die im Rahmen des Projekts untersuchten natürlichen bzw. naturnahen Bindemittel konnten erfolgreich im Heißluft-/Heißdampfverfahren zur Herstellung von Holzfaserdämmstoffen eingesetzt werden. Die produzierten Dämmstoffplatten lassen sich auf Grundlage der DIN EN 13171 (2015) in entsprechende Anwendungsklassen einteilen.

Auf Basis der im Batch-Verfahren gewonnenen Ergebnisse sowie der durchgeführten Strömungssimulationen konnten die relevanten Prozessparameter abgeleitet und die Konzeption der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage entwickelt werden. Die detaillierte Ausarbeitung der technischen Zeichnungen und die präzise Planung der Baugruppen ermöglichten – nach Eintreffen aller erforderlichen Bauteile – die erfolgreiche Fertigung und Montage der Versuchsanlage.

Die am Standort Clausthal durchgeführten Funktionsprüfungen sowie erste Versuchsdurchläufe zeigen, dass die Anlage technisch funktionsfähig und einsatzbereit ist. Darüber hinaus konnten bereits erste Optimierungspotenziale und Erweiterungsmöglichkeiten für die Überführung des Verfahrens in einen kontinuierlichen Betrieb identifiziert werden.

Für ein mögliches Folgeprojekt wurden folgende nächste Schritte definiert:

- Entwicklung und Integration einer automatisierten Streu- und Vliesbildungseinheit,
- Konstruktion einer kontinuierlichen Presseinheit,
- Konzeption eines vereinfachten Steuerungs- und Messsystems,
- Entwicklung eines hybriden KI-gestützten Modells zur Prozessüberwachung und Regelung.

Bewertung/Diskussion/Zielerreichung – Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext inkl. möglicherweise bekannt gewordenen Ergebnissen von dritter Seite

Das Projekt kann insgesamt als erfolgreich und richtungsweisend für die wissenschaftliche Weiterentwicklung sowie die perspektivische Umsetzung eines kontinuierlichen Prototyps bewertet werden. Trotz erheblicher zeitlicher Verzögerungen – bedingt durch die Corona-Pandemie und daraus resultierende Lieferschwierigkeiten bei Materialien und technischen Komponenten – konnte das Vorhaben weitgehend planmäßig abgeschlossen werden. Nach gemeinsamer Abstimmung der Projektpartner wurde bislang bewusst auf die Kontaktaufnahme zu potenziellen Anlagenbauern für eine industrielle Umsetzung verzichtet. Vorrangiges Ziel bleibt zunächst die Übertragung des Verfahrens in einen kontinuierlichen Prototypen, um belastbare Prozessparameter zu ermitteln und eine fundierte Weiterentwicklung zu ermöglichen. Rückblickend lässt sich festhalten, dass das zentrale Projektziel – der Aufbau einer funktionsfähigen Versuchsanlage – erreicht wurde. Ebenso konnte die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen unter Verwendung natürlicher und naturnaher Bindemittel im Heißluft-/Heißdampfverfahren erfolgreich demonstriert werden. Nicht realisiert werden konnte innerhalb der Projektlaufzeit die kontinuierliche Herstellung der Dämmstoffe im semi-industriellen Maßstab. Ursache hierfür waren die pandemiebedingten Lieferengpässe und daraus resultierenden Zeitverschiebungen.

Die geplanten Untersuchungen zum Brandverhalten der im Batchverfahren hergestellten Dämmstoffplatten wurden im Rahmen des Projekts ebenfalls nicht durchgeführt. Der Fokus lag klar auf

der verfahrenstechnischen Umsetzung und der Herstellung mechanisch belastbarer Holzfaserdämmstoffe. Entsprechende Brandtests sind jedoch im Rahmen eines möglichen Folgeprojekts vorgesehen. Hier sollen insbesondere der Vergleich von mit Flammenschutzmitteln behandelten Fasern und unbehandelten Varianten untersucht werden. Auch wenn keine weitere offizielle Projektverlängerung beantragt wurde, arbeiten die Universität Göttingen und die TU Clausthal weiterhin gemeinsam an der Inbetriebnahme, Optimierung und Weiterentwicklung der Versuchsanlage. Dieser kontinuierliche Austausch zwischen den beiden Forschungseinrichtungen ist entscheidend, um prototypische „Kinderkrankheiten“ frühzeitig zu identifizieren und effizient zu beheben. Nur so lassen sich wertvolle Erkenntnisse sichern und der Weg für eine erfolgreiche Übertragung in ein industrielles Herstellungsverfahren ebnen.

Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Da es sich bei dem Heißluft-/Heißdampfverfahren um ein technisch anspruchsvolles und vielschichtiges System handelt, liegt zum Projektabschluss eine klare wissenschaftliche Anschlussfähigkeit vor. Insbesondere durch die erzielten Erkenntnisse im Bereich des semi-kontinuierlichen Verfahrens wurde eine belastbare Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten geschaffen.

Trotz formellem Projektende wurde die Versuchsanlage weiter betrieben, wodurch zusätzliche Erkenntnisse generiert werden konnten. Diese sollen im Rahmen eines Folgeprojekts systematisch genutzt werden, um gezielte Optimierungen vorzunehmen und die Entwicklung von einem semi-kontinuierlichen hin zu einem vollkontinuierlichen Prozess zu realisieren.

Für diesen nächsten Entwicklungsschritt sind verschiedene technische Erweiterungen erforderlich. Dazu zählen insbesondere:

- Konstruktion und Integration von Streu- und Vliesbildungseinheiten
- Entwicklung einer abgestimmten Verdichtungseinheit für den kontinuierlichen Durchlauf
- Feinabstimmung der Prozessparameter wie Temperaturprofile, Streudichten, Materialhöhen und Homogenität der Faserverteilung – alles mit Blick auf die Qualität und Performance des zu fertigenden Holzfaserdämmstoffs.

Begleitend zur technischen Umsetzung soll ein vereinfachtes Steuerungs- und Messkonzept entwickelt werden. Darüber hinaus ist geplant, ein hybrides KI-Modell zu implementieren, das die Prozessdaten analysiert, interpretiert und adaptive Steuerungsmechanismen ermöglicht (vgl. Abbildung 26).

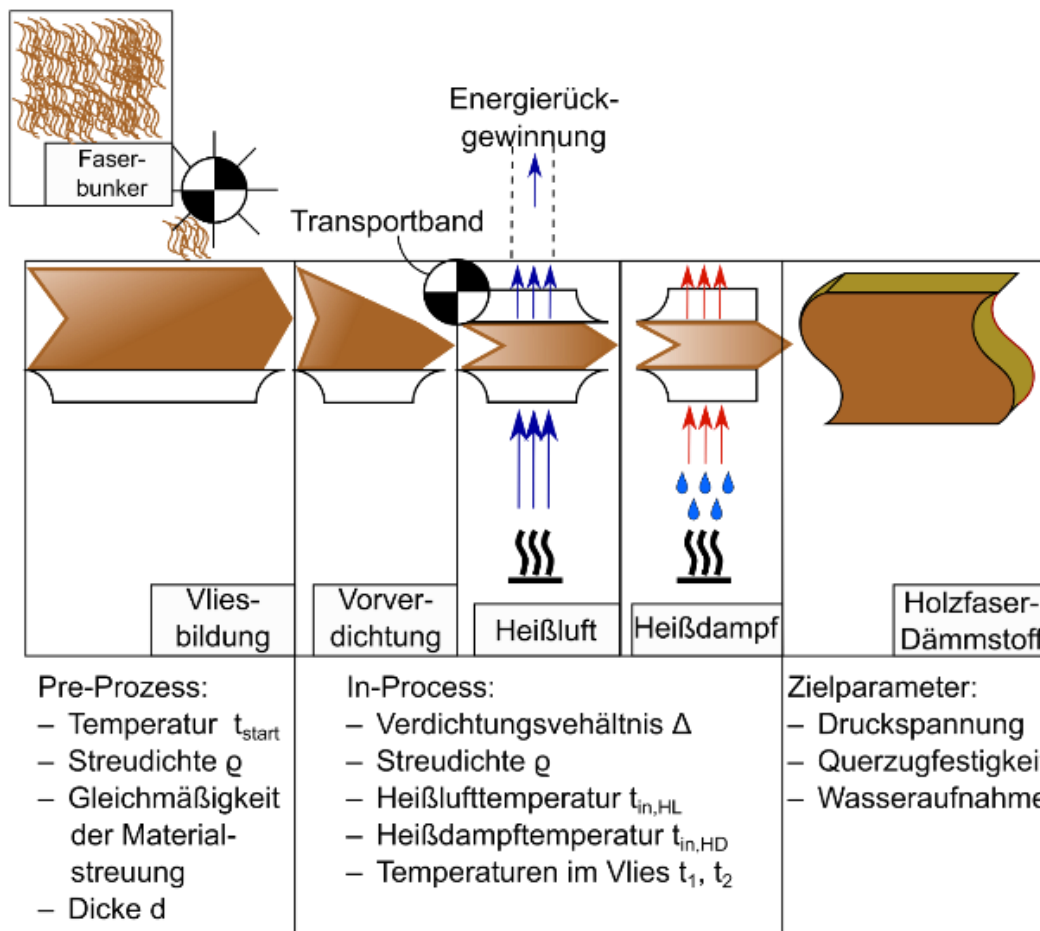
Ein weiterer zentraler Bestandteil des Folgeprojekts ist die umfassende Charakterisierung der im kontinuierlichen Verfahren hergestellten Holzfaserdämmstoffe. Ziel ist ein Vergleich mit den bereits im Batchprozess gefertigten Materialien. Geplante Untersuchungen umfassen:

- Mechanisch-physikalische Prüfungen (z. B. Zug-, Druck- und Biegefestigkeit)
- Bestimmung des Brandverhaltens, sowohl mit als auch ohne Einsatz von Flammenschutzmitteln
- Akustische Untersuchungen zur Bewertung der schalltechnischen Eigenschaften der Dämmstoffe.

Mit diesen weiterführenden Arbeiten soll nicht nur die technische Machbarkeit des kontinuierlichen Herstellungsverfahrens demonstriert, sondern auch die Eignung des Materials für konkrete Anwendungen im Bauwesen umfassend evaluiert werden.

Im Verlauf des Projekts zeigte der industrielle Dämmstoffhersteller GUTEX Interesse an dem Verfahren und konnte als Drittmittelgeber für ein Folgeprojekt gewonnen werden.

Abbildung 26: Planungszeichnung für einen vollkontinuierlichen HL/HD-Prozess im Folgeprojekt.



Schlussworte

Abschließend lässt sich das Projekt als erfolgreich abgeschlossen bewerten. Im Rahmen des Projekts konnte die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des semi-kontinuierlichen Heißluft-/Heißdampfverfahrens im Versuchsmaßstab erfolgreich demonstriert und experimentell bestätigt werden. Die an der Universität Göttingen und der TU Clausthal durchgeführten Arbeiten liefern eine solide Grundlage für weiterführende Untersuchungen und mögliche Folgeprojekte. Insbesondere die umfassende Analyse natürlicher und naturnaher Bindemittelsysteme eröffnet nicht nur Potenzial für den Einsatz in der Holzfaserdämmstoffproduktion, sondern auch für andere Holzwerkstoffe wie MDF- oder Spanplatten.

Darüber hinaus konnten im Rahmen dieses Projekts wichtige Prozessparameter sowie Optimierungsansätze für einen in einem Folgevorhaben zu entwickelnden vollkontinuierlichen Prototyp identifiziert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse machen eine Fortsetzung der Arbeiten erforderlich, um die technische Grundlage für eine Umsetzung im vorindustriellen Maßstab zu schaffen.

Ziel eines solchen Folgeprojekts wäre es zunächst, das Verfahren in einem vollkontinuierlichen Prozess technisch zu erproben und zu validieren. Erst auf Grundlage dieser Ergebnisse kann eine Bewertung hinsichtlich einer möglichen Industrialisierung erfolgen – mit dem langfristigen Ziel, einen Beitrag zu nachhaltigen Bau- und Werkstofflösungen zu leisten.

Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Euring, Markus (Universität Göttingen, Burckhardt-Institut)

Lohrengel, Armin (TU Clausthal, Fritz-Süchting-Institut)

Rehmet, Raphael (TU Clausthal, Fritz-Süchting-Institut)

Beulshausen, Arne (Universität Göttingen, Burckhardt-Institut)

Weitere Mitwirkende

Ostendorf, Kolja (ehem. Universität Göttingen, Büsgen-Institut)

Kurzbiographien

**PD Dr. Markus Euring**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Burckhardt-Institut in der Abteilung „Holztechnologie und Holzwerkstoffe, der Georg-August Universität Göttingen
Leiter der Arbeitsgruppe „Holzwerkstoffe und Hybridmaterialien“
Administrativer Leiter des Biotechnikums

**Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel**

Institutsdirektor des Fritz-Süchting-Instituts für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal
Professur für Maschinenelemente und Konstruktionslehre

**Dr. Raphael Rehmet**

Ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand des Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal. Promovierte zu Projektende über akustische Messverfahren und verließ die TU Clausthal

**Dr. Kolja Ostendorf**

Ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand der Arbeitsgruppe Holzwerkstoffe und Hybridmaterialien. Promovierte über die Holzfaserdämmstoffherstellung nach der Hälfte des Projektes und verließ die Georg-August Universität.

**Arne Beulshausen (M.Sc.)**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand der Arbeitsgruppe Holzwerkstoffe und Hybridmaterialien. Übernahm nach der Promotion von K. Ostendorf die Projektbearbeitung und promoviert auf dem Thema der Holzfaserdämmstoffe

Literaturverzeichnis

- Ambrozy, Heinz G.; Giertlová, Zuzana (2005): Planungshandbuch Holzwerkstoffe. Technologie - Konstruktion - Anwendung. Wien, New York: Springer.
- Eichhorn, Simon Christopher (2018): Entwicklung neuartiger mit Polyurethan gebundener Holzfaserdämmstoffe geringer Rohdichte. Dissertation. Georg-August Universität, Göttingen. Büsgen-Institut, AG Chemie und Verfahrenstechnik von Verbundwerkstoffen.
- Euring, Markus; Kirsch, Alexander; Kharazipour, Alireza (2015): Hot-Air/Hot-Steam Process for the Production of Laccase-Mediator-System Bound Wood Fiber Insulation Boards. In: *BioRes* 10 (2). DOI: 10.15376/biores.10.2.3541-3552.
- GUTEX (2024): GUTEX Thermoflex | GUTEX. Online verfügbar unter <https://shop.gutex.de/GUTEX-Thermoflex/13293>, zuletzt aktualisiert am 25.01.2024, zuletzt geprüft am 25.01.2024.
- Kharazipour, A.; Euring, M. (2013): Verfahren zur Herstellung von Holz- und/oder Verbundwerkstoffen. Angemeldet durch Georg-August-Universität Stiftung des öffentlichen Rechts am 28.02.2013. Veröffentlichungsnr.: WO2013127947A1. Prioritätsdaten: DE102012101716.6 01.03.2012.
- Kirsch, A.; Ostendorf, K.; Euring, M. (2018): Improvements in the production of wood fiber insulation boards using hot-air/hot-steam process. In: *Eur. J. Wood Prod.* 76 (4), S. 1233-1240. DOI: 10.1007/s00107-018-1306-z.
- Ostendorf, Kolja (2022): Applikation naturnaher Bindemittel zur Herstellung von Holzfaserdämmstoffen mittels Heißluft-/Heißdampf-Verfahren.
- Ostendorf, Kolja; Ahrens, Christian; Beulshausen, Arne; Tene Tayo, Jean Lawrence; Euring, Markus (2021a): On the Feasibility of a pMDI-Reduced Production of Wood Fiber Insulation Boards by Means of Kraft Lignin and Ligneous Canola Hulls. In: *Polymers* 13 (7). DOI: 10.3390/polym13071088.
- Ostendorf, Kolja; Haerkötter, Julian; Euring, Markus (2021b): Canola Meal Adhesive for the Production of Wood Fiber Insulation Boards Using Hot-Air/Hot-Steam-Process. In: *JMSR* 10 (1), S. 28. DOI: 10.5539/jmsr.v10n1p28.
- Sonae Arauco Deutschland GmbH (2021): AGEPAN®SYSTEM. AGEPAN®SYSTEM Systembroschüre. Hg. v. Sonae Arauco Deutschland GmbH. Sonae Arauco Deutschland GmbH. Meppen (Systembroschüre). Online verfügbar unter <https://www.sonaearauco.com/de/downloads/>, zuletzt aktualisiert am Dezember 2021.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gegenüberstellung der beiden Herstellungsverfahren für Holzfaserdämmstoffe.	7
Abbildung 2: Thermische Verläufe der verschiedenen Herstellungsverfahren.	8
Abbildung 3: Übersicht des Heißluft/Heißdampfverfahrens im Labormaßstab.	8
Abbildung 4: Maximal erreichte Prozesstemperaturen des Heißdampf-Verfahrens (HD) bzw. des Heißluft-/Heißdampf-Verfahrens (HL/HD) von pMDI-gebundenen (4%) bzw. Rapsmehl gebundenen (15%) Dämmstoffplatten (n = 21) nach (Ostendorf 2022).	15
Abbildung 5: Kraftabschätzung Förderband.	22
Abbildung 6: Auslassbohrungen n= 49 (1mm).	23
Abbildung 7: Auslassbohrung n=25 (1mm).	23
Abbildung 8: Auslassbohrungen n=49 (1-4mm).	23
Abbildung 9: Anlagenschema und Abschätzung der Prozesszonen.	24
Abbildung 10: Förderband mit Durchströmungseinrichtung.	26
Abbildung 11: Einzusetzendes Modulband der Serie 8 von Forbo Siegling GmbH (Hannover).	26
Abbildung 12: Hergestellte Dämmstoffplatte mit abgenommenen Modulband.	27
Abbildung 13: Bauzeichnung: Führungsblech mit Aussparungen für Düsenlanzen.	27
Abbildung 14: Baugruppe für semi-kontinuierliche Versuchsanlage.	28
Abbildung 15: CAD-Modell der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage.	28
Abbildung 16: Montierte Versuchsanlage.	29
Abbildung 17: Radialverdichter mit 0,3 KW Antrieb und einem Volumenstrom von 12 m ³ /min.	30
Abbildung 18: Heizaggregat des Typs LHS61L der Fa. Leister Technologies Deutschland GmbH (Wuppertal) mit montierter Ventilinsel.	30
Abbildung 19: Dampferzeuger des Typs GHDINI Maxi 24; Ghidini Benvenuto Srl. (Giuliano Milanese; Italien)	31
Abbildung 20: Heißdampfventilinsel.	32
Abbildung 21: Führungsbleche mit Düsenlanzen.	33
Abbildung 22: Antriebsmechanik der Versuchsanlage.	34
Abbildung 23: Absaugungshaube mit DIN200-Anschluss.	34
Abbildung 24: Fahrversuch mit 40mm Kunststoffplatte.	35
Abbildung 25: Fahrversuch mit Holzfasern. Verdichtetes Faservlies am Ende der Versuchsanlage mit einer Rohdichte von ca. 150-160 kg/m ³	36
Abbildung 26: Planungszeichnung für einen vollkontinuierlichen HL/HD-Prozess im Folgeprojekt.	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter des Heißluft-/Heißdampfverfahrens nach (Euring et al. 2015).	13
Tabelle 2: Plattenparameter nach (Ostendorf et al. 2021b).	14
Tabelle 3: Herstellungsparameter, durchschnittliche Kerntemperatur [°C] sowie benötigte Wärmeenergie [kJ] nach Gleichung 1 bei der Herstellung der Platten nach (Ostendorf et al. 2021b).	14
Tabelle 4: Herstellungsparameter nach (Ostendorf 2022).....	15
Tabelle 5: Materialparameter zur Herstellung der Holzfaserdämmstoffplatten mit pMDI-Reduzierung nach (Ostendorf 2022).	16
Tabelle 6: Einstufung der 2 % bzw. 4 % pMDI-gebundenen und mittels Heißdampf (HD) oder Heißluft-/Heißdampfverfahren (HL/HD) hergestellten Holzfaserdämmstoffe mit einer Rohdichte von 160 kg/m ³ und einer Dicke von 40 mm, mit Zugabe von u. a. 2 % bzw. 4 % Propylencarbonat als Verdünnungsmittel sowie 1 % Kraft-Lignin (BP), Indulin (IN) bzw. Rapsschalenmehl (CH) als Additive. Angelehnt an die Vorgaben der DIN EN 13171 (2015). (Ostendorf 2022).....	17
Tabelle 7: Herstellungsparameter für Disaccharid-Bindemittel gebundene Dämmstoffe im Heißluft/Heißdampfverfahren.....	18
Tabelle 8: Ergebnisübersicht des Bindemittelversuchs mit einem Disaccharidbindemittel.	18
Tabelle 9: Anforderungsliste.....	19
Tabelle 10: Arbeits- und Zeitplan	48
Tabelle 11: Arbeits- und Zeitplan	52

Anlagen

Anlage 1

Arbeits- und Zeitplan

Im Folgenden wird der Arbeits- und Zeitplan grafisch dargestellt, sowie der Inhalt und die Verantwortlichkeiten in den einzelnen Arbeitspaketen erläutert (siehe Tabelle 10). Der Zeitplan ist in Quartale aufgeteilt, die Nachvollziehbarkeit des Projektfortschrittes ist durch drei Meilensteine während der Laufzeit und den Projektabschluss sichergestellt.

Tabelle 10: Arbeits- und Zeitplan

Uni Göttingen			Laufzeit des Projektes [Quartale]							
TU Clausthal			MS1		MS 2			MS3		
Quartal			Jahr 1				Jahr 2			
			1	2	3	4	5	6	7	8
Phase I	AP 1	Beschaffungen, Parameterplanung								
	AP 2	Simulation								
	AP 3	Entwurf & Konstruktion								
Phase II	AP 4	Fertigung und Montage								
	AP 5	Versuchsdurchführung								
	AP 6	Abschluss, Öffentlichkeitsarbeit								
			AP 0: Controlling und Anforderungsliste							

..... ursprünglicher Zeitraum
 ursprünglicher Zeitraum

Universität Göttingen
 TU Clausthal

Die Arbeit in sämtlichen Arbeitspaketen erfolgt gemeinschaftlich, soweit es fachlich möglich ist. Die im Folgenden einem * gekennzeichneten Partner sind im jeweiligen Arbeitspaket leitend verantwortlich.

Phase I: Die semi-kontinuierliche Versuchsanlage wird in dieser Phase im Detail auskonstruiert. Dabei ist zu beachten, dass Versuche im Bereich der Grundlagenuntersuchungen der Zweck dieser Anlage sind. Neben festen Anlagenbestandteilen zur Antriebs- und Energieerzeugung sowie Peripheriegerät wie Messtechnik und Gestell, liegt ein besonderes Augenmerk der Forschung auf den Elementen zur Heißluft- sowie Heißdampfführung. Diese sind entsprechend in mehrfachen Varianten herzustellen und

zu testen. Die Simulation der Strömungen dient hierbei zur Unterstützung der Gestaltung und der Reduzierung der notwendigen Variantenzahl.

Zu Beginn werden die zu beschaffenden Materialien und die Parameter für die Versuchsanlage festgelegt. Die semi-kontinuierliche Versuchsanlage wird mit entwicklungsmethodischen Verfahren entworfen und im Detail auskonstruiert. Mit Beginn der Fertigung werden Zukaufteile bestellt und die Montage geplant.

AP 1 Beschaffungen, Parameterplanung

Uni GÖ* / TUC: In diesem Arbeitspaket werden am Bösgen-Institut der Universität Göttingen (Uni GÖ) alle notwendigen Materialien, wie Holzfasern, Fasern aus Einjahrespflanzen, Lignine, Weizenprotein und Additive beschafft und zur Entwicklung von Plattenrezepturen und Prozessparametern zur Herstellung von Holzfaserdämmplatten im einfachen Laborbetrieb verwendet. Dabei werden erste Parameter für das Heißluft/Heißdampfverfahren und das Produkt definiert. Anhand variierender Rohdichten, Plattenstärken, der Zusammensetzung der Fasermaterialien und natürlicher Bindemittel in unterschiedlichen Konzentrationen werden Plattenrezepturen erstellt, die im folgenden Versuchsbetrieb des Heißluft-/Heißdampfverfahrens eingesetzt werden sollen. Bei Bedarf sind bestimmte Additive, wie Hydrophobierungs- oder Brandschutzmittel hinzuzufügen, um den Holzfaserdämmstoffen bestimmte physikalische Eigenschaften zu verleihen. Wichtig hierbei ist die Evaluierung der optimalen Parameter für die Heißluft und Heißdampfbehandlung im semi-kontinuierliche Verfahren, um entsprechende physikalische Zielparameter sowohl für das Produkt Holzfaserdämmplatte und das Heißluft-/Heißdampfverfahren zu erstellen. Mit der TU Clausthal (TUC) wird während der Bearbeitung engmaschig zusammengearbeitet um einen Entwurf der semi-kontinuierliche Heißluft-/Heißdampfversuchsanlage zu entwerfen und zu simulieren (siehe Anhang 2).

AP 2 Simulation

Uni GÖ / TUC*: Das Arbeitspaket gliedert sich in zwei Teile auf. Der für den ersten Meilenstein (MS 1) relevante Teil umfasst das Aufstellen der Prozessgleichungen mit anschließender Simulation der kritischen Prozessphasen und der kritischen Parameter. Ausgewählte auskonstruierte Elemente werden mit Simulationsprogrammen überprüft. Eine Simulation (Thermisch-fluidische Multiphysiksimulation) beider Prozessschritte (Heißluft / Heißdampf) ermöglicht eine Problemerkennung im Vorfeld der Versuche und einen Einfluss auf die Anlagengestaltung, insbesondere auf die Elemente zur Heißluft- sowie Heißdampfführung.

Der zweite Teil beginnt nach dem Erreichen des MS 2. Hier wird die Strömungssimulation genutzt, um die Simulationsergebnisse mit den Versuchsergebnissen abzugleichen und das Modell zu verbessern. Anschließend ist eine energetische Betrachtung zur Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens durchzuführen. Hierbei stehen Untersuchungen zu den erforderlichen Energiemengen (Heißluft und Heißdampf) und Stoffmengen (Holzfasern und Bindemittel) für den kontinuierlichen Betrieb des Verfahrens im Vordergrund. Das erlangte Wissen hilft bei der Gestaltung einer Funktionsmusteranlage in einem möglichen Folgeprojekt, bei der möglichst wenig Energieverluste (Abwärme, Rekuperation) auftreten.

Meilenstein 1 (MS 1): Konzeption Prozessführung/Simulation

Die Prozessgleichungen mit anschließender Simulation der kritischen Prozessphasen und der kritischen Parameter sind aufgestellt und ausgewählte auskonstruierte Elemente sind mit Simulationsprogrammen überprüft. Durch thermisch-fluidische Multiphysiksimulation sind im Vorfeld mögliche Probleme erkannt. Die Anlagengestaltung, insbesondere auf die Elemente zur Heißluft- sowie Heißdampf-führung sind sicher bestimmt. MS 1 gilt nicht als erreicht, wenn sich die Verfahrensschritte nicht von diskontinuierlichen in den semi-kontinuierlichen Prozess übertragen lassen. Durch eine vorherige und sorgfältige Verfahrensanalyse soll das Risiko hierfür verringert werden. Eine weitere Simulation findet nach der Konstruktion der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage statt (nach MS 2).

AP 3 Entwurf und Konstruktion

Uni GÖ / TUC*: In diesem AP soll eine semi-kontinuierliche Versuchsanlage konstruiert und entworfen werden. Die Lösungsentwicklung wird nach entwicklungsmethodischen Verfahren durchgeführt. Nach der Bewertung der Lösungen wird das Konzept mit dem höchsten Potenzial ausgearbeitet und anschließend detailliert. Das Konzept zur kontinuierlichen Prozessüberwachung wird mithilfe von geeigneter Messtechnik und mechanischen Aufbauten entwickelt. Der Konstruktionsplan wird mit den in Göttingen gewonnenen Daten (AP 1) abgestimmt und die wichtigsten Prozessparameter für das Heißluft-/Heißdampfverfahren festgelegt. Die Führung und Regelung des Temperaturprofils ist elementar für einen sicheren Bindeprozess. Abschließend wird die entwickelte Anlage mit der Anforderungsliste abgeglichen und auf Optimierungspotential geprüft.

Meilenstein 2 (MS 2): Vorbereitungen für den Bau der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage

Die Phase I endet mit dem Abschluss der Konstruktion, alle Vorbereitungen für die Fertigung und Montage der Maschinenteile in Phase II sind abgeschlossen. Alle Elemente sind ausgelegt und berechnet. Die Methoden zur Maschinenteilauslegung sind zuverlässig, die Auslegung selbst stellt somit kein Risiko für das Erreichen dar. Kritisch sind die Prozessführung und die dafür benötigten Komponenten, insbesondere die Elemente zur Strömungsleitung. Sollte hier keine zufriedenstellende Lösung gefunden werden um den Heißdampf- /Heißluftprozess zu führen ist der MS 2 nicht erreichbar. Durch eine vorherige und sorgfältige Verfahrensanalyse kann das Risiko hierfür verringert werden.

Phase II: Umfasst den Bau der semi-kontinuierliche Versuchsanlage nach den Ergebnissen aus Phase I. Die Arbeiten an Phase II werden bereits aufgenommen während Phase I noch läuft.

AP 4 Fertigung und Montage

Uni GÖ / TUC*: Fertigung und Beschaffung der notwendigen Einzelteile, wozu auch das Probenmaterial zählt. Beschafft werden dabei Normteile, Sonderbauteile werden vor Ort angefertigt und auf die bestehenden Elemente angepasst. Die Montage der Anlage findet am Standort Clausthal statt.

AP 5 Versuchsdurchführung

Uni GÖ* / TUC: Funktionsprüfung der Versuchsanlage am Standort Clausthal. Hierzu werden in Clausthal umfangreiche Tests durchgeführt, um mögliche Schwachstellen der Versuchsanlage zu beheben und erste Erfahrungen mit dem Heißluft/Heißdampfverfahren zu sammeln. Die grundsätzliche Prozesstauglichkeit wird anhand von einzeln gefertigten Dämmstoffplatten nachgewiesen. Im Weiteren werden die festgelegten Parameter untersucht und die Qualität der erzeugten Materialien geprüft. In verschiedenen Testläufen werden Holzfaserdämmplatten mit natürlichen und Referenz-Bindemitteln (pMDI) hergestellt, deren Eigenschaften vergleichbar mit dem Stand der Technik sein sollen. Der

herausstechende technische Fortschritt dieser Produkte ist, dass zukünftig Holzfaserdämmplatten ausschließlich mit natürlichen Bindemitteln hergestellt werden können.

Ziel ist das Erreichen von Werten hinsichtlich der Qualität, die maximal 5 % Abweichung von Holzfaserdämmstoffen mit herkömmlichen Bindemitteln aufweisen. Weiterhin werden Brennbarkeitstest der hergestellten Dämmstoffe durchgeführt, um die Produkte in verschiedene Brandschutzklassen einzuteilen. Abschließend werden die Ziel- und Anlagenparameter mit einander verglichen.

AP 6 Abschluss, Öffentlichkeitsarbeit

Uni GÖ* / TUC: Zum Projektabschluss werden die Kontakte zu potentiellen Produzenten von Anlagen des Heißluft/Heißdampfverfahrens für eine weitere Entwicklung hin zu einem industriellen Maßstab geknüpft. Nur durch einen größeren Anlagenbauer können die Holzfaserdämmstoffproduzenten auf diese Technologie zugreifen. Alle Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes zum Heißluft-/Heißdampfverfahren werden in einem ausführlichen Abschlussbericht dokumentiert.

Meilenstein 3 (MS 3): *Bau und Überprüfung der Versuchsanlage/Formulierung Parameter für kontinuierlichen Prototypen.*

Mit der erfolgreichen Konstruktion der semi-kontinuierlichen Versuchsanlage und am Ende der Versuchsdurchführung am Büsgen-Institut und der Formulierung der Parameter für einen kontinuierlichen Prototypen in einem Folgevorhaben, ist der Meilenstein 3 erreicht. Der Meilenstein kann durch Fertigungsschwierigkeiten wie etwa Lieferengpässe oder durch Schwierigkeiten im Prozess nicht oder nur verzögert erreichbar sein. Weiterhin wird der Abschlussbericht erstellt. Sollten die Ergebnisse der Materialprüfung nicht den Erwartungen entsprechen, gilt MS 3 dennoch als erreicht.

AP0: Anforderungsliste und Controlling: Die Bearbeitung des Projektes wird nach allgemeinem Stand der Technik anhand eines Lasten- / und Pflichtenheftes ausgeführt. Aus dem festgelegten Funktionsumfang der Anlage wird initial eine Anforderungsliste erstellt, die den Projektfortschritt dokumentiert und während der Bearbeitung aktuell gehalten wird.

Zur Fortschrittsüberwachung und Planung der Arbeitsabläufe werden die einzelnen Arbeitspakete in einem Gantt-Diagramm festgehalten, die Grundlage für die Planung ist in Tabelle 1 dargelegt.

Anhang 2

Aktualisierter Zeitplan

Im Folgenden wird der Arbeits- und Zeitplan grafisch dargestellt (siehe Tabelle 11). Der Zeitplan ist in Quartale aufgeteilt, die Nachvollziehbarkeit des Projektfortschrittes ist durch drei Meilensteine während der Laufzeit und dem Projektabschluss sichergestellt.

Tabelle 11: Arbeits- und Zeitplan

Uni Göttingen			Laufzeit des Projektes [Quartale]									
TU Clausthal			MS1		MS 2				MS3			
Quartal			Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Phase I	AP 1	Beschaffungen, Parameterplanung										
	AP 2	Simulation										
AP 3	Entwurf & Konstruktion											
Phase II	AP 4	Fertigung und Montage										
	AP 5	Versuchsdurchführung										
	AP 6	Abschluss, Öffentlichkeitsarbeit										
			AP 0: Controlling und Anforderungsliste									

geplanter Zeitraum
geplanter Zeitraum