

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

 **Fraunhofer**

**IBP**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht HTB-008/2024

# BioBauMat – Biobasierte Baustoffinnovation aus Rohrkolben und sekundären Rohstoffen Teil 1: Kurzbericht

Durchgeführt im Auftrag

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Förderkennzeichen: 031B1313

Laufzeit des Vorhabens

1.10.2022 - 30.09.2023

Der Bericht umfasst

6 Seiten Text

MBA & Eng. Sabine Giglmeier

Prof. Dr. Martin Krus

Valley, 6. Mai 2024

Bearbeiter

**Martin Krus**

Prof. Dr  
Martin Krus

Digital unterschrieben von  
Martin Krus  
Datum: 2024.10.24 09:20:01  
+02'00'

Bearbeiterin

**Sabine  
Giglmeier**

MBA & Eng.  
Sabine Giglmeier

Digital unterschrieben  
von Sabine Giglmeier  
Datum: 2024.10.24  
11:01:20 +02'00'

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP**

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00  
Telefax +49 711 970-3395  
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen  
Fraunhoferstr. 10 | 83626 Valley  
Telefon +49 8024 643-0  
Telefax +49 8024 643-366

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation und Fragestellung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ablauf des Vorhabens</b>	<b>3</b>
2.1	Arbeitspaket 1: Materialauswahl des Ausgangsstoffes für Geopolymere	3
2.2	Arbeitspaket 2: Formulierung des Baustoffs	4
2.3	Arbeitspaket 3: Entwicklungsplan	4
2.4	Arbeitspaket 4: Verwertungsperspektive und Markt Betrachtung	5
2.5	Arbeitspaket 5: Rohstoffversorgung	6

# 1 Ausgangssituation und Fragestellung

Die aktuell gängigen Baustoffe, wie zum Beispiel Ziegel oder Beton, sind in ihrer Herstellung oftmals sehr energieintensiv. Das BioBauMat-Projekt präsentiert eine innovative Alternative dazu: die Entwicklung einer Baustoffplatte aus Rohrkolben (Typha) und alkalisch aktivierten Bindemitteln. Rohrkolben bietet vielfältige Vorteile und kann als tragendes Bauelement sowie als Dämmmaterial dienen. Das Projekt zielt darauf ab, herkömmliche zementäre Bindemittel durch Geopolymere zu ersetzen und einen nachhaltigeren Baustoff zu entwickeln. Erste Untersuchungen in der Sondierungsphase wurden durchgeführt, um das Potenzial der Entwicklungsidee zu bewerten.

## 2 Ablauf des Vorhabens

Von Oktober 2022 bis einschließlich September 2023 wurden im Rahmen von fünf Arbeitspaketen die wesentlichen Entwicklungen und Untersuchungen vorgenommen. Dabei konnten die ursprünglichen Zeit- und Kostenpläne eingehalten werden.

### 2.1 Arbeitspaket 1: Materialauswahl des Ausgangsstoffes für Geopolymere

Für die Auswahl der Ausgangsstoffe für die alkalisch aktivierten Bindemittel waren nicht nur die physikalischen Eigenschaften der entstehenden Geopolymere ein Kriterium, sondern auch die Verfügbarkeit, die Verarbeitbarkeit, ökologische Aspekte und Kosten. Es wurden zwei Arten von Rezepturen betrachtet.

Definition und Eigenschaften:

Geopolymere sind feste, stabile aluminosilikatische Materialien, die durch Aktivierung eines Vorläufers mit Alkalihydroxid oder Alkalisilikat gebildet werden. Diese gehören zur Klasse der alkaliaktivierten Bindemittel. Sie zeichnen sich durch hohe Stabilität und Beständigkeit gegenüber Wasserlösung aus und bieten beeindruckende mechanische, thermische und chemische Eigenschaften. Metakaolin und flüssiges Kaliwasserglas spielten eine zentrale Rolle in der Materialauswahl.

Verfügbarkeit und Zugänglichkeit:

Metakaolin und Kaliwassergläser sind in verschiedenen Industrien verfügbar. Die Anwendung von Metakaolin konkurriert zwar mit der Papier- und Keramikindustrie, aber standardisierte Produktionsverfahren gewährleisten eine kontinuierliche Verfügbarkeit. Kaliwassergläser werden als gebrauchsfertige Lösungen angeboten, was ihre einfache Anwendung in verschiedenen Industriebereichen ermöglicht.

Verarbeitbarkeit: Experimente zur Verarbeitbarkeit zeigten, dass alkalisch aktivierte Bindemittel sprühbar sind. Die Verarbeitung von flüssigen Formulierungen und gelöstem Pulver wurde getestet, wobei die Verarbeitung des trockenen Pulvers komplexer war.

Ökobilanz:

Im Vergleich zu zementbasierten Produkten haben Geopolymere eine bessere Ökobilanz, da sie weniger Energie in der Herstellung benötigen und aus Sekundärrohstoffen hergestellt werden können. Dies reduziert den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und vermeidet Abfall.

Kosten:

Die Kosten für Geopolymere sind gut beherrschbar, da Rohstoffbeschaffung, Aufbereitung und Verwendung bereits standardisiert sind. Die Technologie ist weit fortgeschritten und bietet eine vielversprechende Option als nachhaltiger und ökonomisch vertretbarer Baustoff.

## 2.2 Arbeitspaket 2: Formulierung des Baustoffs

Die Entwicklung des Baustoffs erfolgte durch die Kombination von Rohrkolben und Geopolymeren. Der schmalblättrige Rohrkolben, *Typha angustifolia*, wurde als primäre Rohstoffquelle verwendet. *Typha*-Partikel wurden dann mit der Geopolymer-Mischung behandelt, um einen Verbund herzustellen.

Garantie eines guten Verbundes:

Das Geopolymer zeigte eine bessere Bindewirkung als Magnesit-Binder, wodurch eine geringere Menge an Bindemittel für die Rohrkolbenpartikel benötigt wurde. Dies führte zu einer verbesserten Wärmedämmung. Das Produkt wurde auf seine mechanischen Eigenschaften hin geprüft.

Herstellungsparameter und Ermittlung der Materialeigenschaften beeinflussender Parameter:

Die Geometrie der Partikel spielte eine zentrale Rolle bei der Variation der Materialeigenschaften. Feinere Partikel erforderten eine höhere Bindemittelkonzentration und führten zu einer erhöhten Wärmeleitfähigkeit, während sie gleichzeitig die Materialfestigkeit beeinträchtigen konnten. Die präzise Abstimmung dieser Parameter ermöglichte die Realisierung gewünschter Materialeigenschaften und eine Anpassung an spezifische Anwendungsbereiche.

Durchführung erster Vorversuche und Erfassen von Kennwerten:

Die Entwicklung des Verbundwerkstoffs umfasste einen sequenziellen Prozess, einschließlich Homogenisierung der Hauptkomponenten, Aufbringen des Bindemittels auf die Rohrkolbenpartikel, Kompaktierung, Aushärtung und Charakterisierung des Endprodukts. Verschiedene Eigenschaften wie Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit wurden präzise ermittelt, um das Verbundmaterial zu bewerten.

## 2.3 Arbeitspaket 3: Entwicklungsplan

Stakeholder-Analyse:

Die derzeitige Rohstoffgewinnung für Baustoffe ist wenig nachhaltig und konzentriert sich auf Länder mit natürlichem Vorkommen wie Rumänien. Um effizienter zu werden und CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu reduzieren, wird vorgeschlagen, den

Rohrkolbenanbau auch in Deutschland zu etablieren und die Produktion in Partnerschaft mit einem Plattenhersteller im Donau-Delta zu optimieren. Dies ermöglicht eine bessere Nutzung der Ressourcen und fördert ökologisch vorteilhafte Praktiken wie die Renaturierung von Niedermooren. Das Fraunhofer-Gelände könnte als Standort für Freilanduntersuchungen dienen und eine umfassende Partnerschaft mit verschiedenen Branchen könnte die Forschung und Entwicklung voranbringen sowie praktische Anwendungen ermöglichen.

Analyse der Anforderungen für eine erfolgreiche bauaufsichtliche Zulassung: Die Typha-Geopolymer-Platte soll für den Baueinsatz zertifiziert werden. Um eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung zu erhalten, sind umfangreiche Prüfungen in spezialisierten Laboren erforderlich. Das Deutsche Institut für Bautechnik kann eine solche Zulassung auf Basis des Europäischen Bewertungsdokuments ausstellen. Die spezifischen Anforderungen an den Baustoff müssen detailliert untersucht und dokumentiert werden, um die Zulassung zu erhalten.

## **2.4 Arbeitspaket 4: Verwertungsperspektive und Marktbetrachtung**

Ermittlung eines geeigneten Einstiegs- und Zielmarktes:

Der Markt für Innendämmung bietet bedeutende Chancen, insbesondere in Deutschland. Die Fokussierung auf Fachwerkgebäude und historische Bauwerke ermöglicht einen schnelleren Markteintritt aufgrund weniger strenger Zulassungsanforderungen.

Analyse von Verwertungspotenzialen:

Das Geopolymer-gebundene Typhaboard bietet verbesserte Dämmwerte im Vergleich zu alternativen Materialien und eröffnet vielversprechende Möglichkeiten. Die Produktionsentscheidung hängt von Faktoren wie Rohstoffverfügbarkeit, Logistik und Marktnachfrage ab. Ein Demonstrationsprojekt am Fraunhofer-Institut soll das Interesse der Baubranche wecken.

Vorläufige Geschäftsmodellentwicklung:

Ein mögliches Geschäftsmodell sieht die Integration verschiedener Prozessschritte in der Wertschöpfungskette vor, angefangen beim Anbau des Rohstoffs bis hin zum Vertrieb. Die Gründung eines eigenständigen Unternehmens durch ein engagiertes Team wird vorbereitet, das wertvolle Expertise im Bereich Architektur und Betriebswirtschaft einbringt.

Identifikation eines Wirtschaftsexperten:

Tom Scharf und Wim Schiller, beide mit umfangreicher Erfahrung in Architektur und Betriebswirtschaft, leiten das Gründungsteam und suchen nach weiteren Teammitgliedern. Die Integration in das Projekt erfordert eine Weiterentwicklung des Baustoffs und die Beschaffung von Finanzmitteln für die Entwicklungsphase.

## 2.5 Arbeitspaket 5: Rohstoffversorgung

Derzeitige Situation:

Die Rohstoffversorgung für Geopolymere ist stabil, aber der Fokus liegt auf der Rohrkolbenbeschaffung, da der Transport aus Rumänien unökonomisch ist. Die Entwicklung von Anbauflächen in Deutschland wird im Zusammenhang mit der Wiedervernässung von Niedermooren betrachtet, um ökologische und ökonomische Chancen zu schaffen.

Identifikation geeigneter Rohstofflieferanten:

Die Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) initiierte ein Projekt zur Förderung von Paludikulturen, um die Machbarkeit des Anbaus und der Herstellung von Rohrkolbenbasierten Produkten zu demonstrieren. Die Identifikation geeigneter Rohstofflieferanten ist entscheidend für den Erfolg und die Verbreitung nachhaltiger landwirtschaftlicher Praktiken.

Akquise von Rohstofflieferanten im größeren Maßstab:

Ein geplantes Unternehmen zielt darauf ab, nachhaltige Bauprodukte herzustellen und zu vermarkten. Es plant, Produktionsstandorte in der Nähe der Rohstoffquellen zu etablieren, um den Transport zu minimieren. Das Unternehmen spielt eine zentrale Rolle im Netzwerk und koordiniert die gesamte Prozesskette von der Rohstoffherzeugung bis zur Baustelle.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

 **Fraunhofer**

**IBP**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht HTB-008/2024

# BioBauMat – Biobasierte Baustoffinnovation aus Rohrkolben und sekundären Rohstoffen Teil 2: Eingehende Darstellung

Durchgeführt im Auftrag

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Förderkennzeichen: 031B1313

Laufzeit des Vorhabens

1.10.2022 - 30.09.2023

Der Bericht umfasst

20 Seiten Text

2 Bilder

MBA & Eng. Sabine Giglmeier

Dr.-Ing. Martin Krus

Valley, 6. Mai 2024

Bearbeiter

**Martin Krus**

Digital unterschrieben von Martin  
Krus  
Datum: 2024.10.23 08:46:13  
+02'00'

Prof. Dr.  
Martin Krus

Bearbeiterin

**Sabine  
Giglmeier**

MBA & Eng.  
Sabine Giglmeier

Digital unterschrieben  
von Sabine Giglmeier  
Datum: 2024.10.23  
08:39:22 +02'00'

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP**

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00  
Telefax +49 711 970-3395  
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen  
Fraunhoferstr. 10 | 83626 Valley  
Telefon +49 8024 643-0  
Telefax +49 8024 643-366

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Darstellung der Verwendung der Zuwendung sowie der erzielten Ergebnisse</b>	<b>4</b>
1.1	Ausgangssituation und Fragestellung	4
1.2	AP 1 Materialauswahl des Aufgangsstoffes für Geopolymere	4
1.2.1	Definition und Eigenschaften	5
1.2.2	Verfügbarkeit und Zugänglichkeit	5
1.2.3	Verarbeitbarkeit	6
1.2.4	Ökobilanz	6
1.2.5	Kosten	6
1.3	AP 2 Formulierung des Baustoffs	7
1.3.1	Garantie eines guten Verbundes	7
1.3.2	Herstellungsparameter und Ermittlung der Materialeigenschaften beeinflussender Parameter	7
1.3.3	Durchführung erster Vorversuche und Erfassen von Kennwerten	8
1.4	AP 3 Entwicklungsplan	9
1.4.1	Stakeholder – Analyse	9
1.4.2	Analyse der Anforderungen für eine erfolgreiche bauaufsichtliche Zulassung	10
1.5	AP 4 Verwertungsperspektive und Marktbetrachtung	11
1.5.1	Ermittlung eines geeigneten Einstiegs – und Zielmarktes	11
1.5.2	Analyse von Verwertungspotentialen	12
1.5.3	Vorläufige Geschäftsmodellentwicklung	12
1.5.4	Identifikation eines Wirtschaftsexperten/ -expertin	13
1.6	AP 5 Rohstoffversorgung	13
1.6.1	Derzeitige Situation	13
1.6.2	Identifikation geeigneter Rohstofflieferanten für das Entwicklungsprojekt	15
1.6.3	Akquise von Rohstofflieferanten für die Umsetzung im größeren Maßstab	15
<b>2</b>	<b>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen und Fortschreibung des Verwertungsplans</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt</b>	

	<b>gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.5 der NABF/NKBF</b>	<b>17</b>

# 1 Darstellung der Verwendung der Zuwendung sowie der erzielten Ergebnisse

## 1.1 Ausgangssituation und Fragestellung

Im deutschen Bauwesen gewinnt das Thema Ressourcenschonung zunehmend an Bedeutung, insbesondere angesichts der Tatsache, dass dieser Sektor einen der materialintensivsten in der Wirtschaft darstellt. Die aktuelle politische Agenda betont die Notwendigkeit, den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden zu betrachten, um die sogenannte graue Energie zu reduzieren [1]. Trotz dieser Entwicklung werden in der Praxis immer noch vorwiegend mineralische Baustoffe wie Beton und Ziegel verwendet, die aufgrund ihrer nachteiligen Energiebilanz in die Kritik geraten sind. Zusätzlich verdeutlichen Engpässe bei mineralischen Ressourcen, die häufig Primärrohstoffe sind, insbesondere im Hinblick auf Sand, die Dringlichkeit für nachwachsende oder kreislauffähige Alternativen.

Holz hat in Deutschland als ressourceneffizienter Baustoff einen Marktanteil von 20% erreicht [2], doch bereits jetzt sind Lieferengpässe spürbar [3]. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist die Bauindustrie gefordert, ihre etablierten Praktiken zu überdenken und vermehrt auch auf andere nachhaltige Materialien umzusteigen, neben Holz. In diesem Zusammenhang präsentiert das BioBauMat-Projekt eine wegweisende Lösung:

Die Entwicklung einer Baustoffplatte, die Rohrkolben (Typha) als Strukturstoff und alkalisch aktivierte Bindemittel nutzt.

Typha bietet aufgrund seiner einzigartigen Zusammensetzung aus Schwamm- und Stützgewebe vielfältige Vorteile und kann sowohl als tragendes Bauelement als auch als Dämmmaterial dienen [4]. Diese Vorteile sind durch umfangreiche Forschungsarbeiten belegt. Dennoch besteht weiterhin Forschungsbedarf, insbesondere bei der Auswahl des optimalen Bindemittels. Das vorrangige Ziel des BioBauMat-Projekts ist es, herkömmliche zementäre Bindemittel durch Geopolymere zu ersetzen und somit einen nachhaltigeren Baustoff für die Zukunft zu entwickeln. Im Rahmen der hier vorgestellten Sondierungsphase des Projektes wurden erste Untersuchungen und Analysen durchgeführt, um das grundsätzliche Potenzial der Entwicklungsidee zu ermitteln.

## 1.2 AP 1 Materialauswahl des Ausgangsstoffes für Geopolymere

Für die Auswahl der Ausgangsstoffe für die alkalisch aktivierten Bindemittel waren nicht nur die physikalischen Eigenschaften der entstehenden Geopolymere ein Kriterium, sondern auch die Verfügbarkeit, die Verarbeitbarkeit, ökologische Aspekte und Kosten. Es wurden zwei Arten von Rezepturen betrachtet. Davon war eine Formulierung flüssig, die andere ein Pulver, das in Lösung gebracht wird.

### 1.2.1 Definition und Eigenschaften

Gemäß einschlägiger Forschungsliteratur wird ein Geopolymer im Allgemeinen als ein festes und stabiles aluminosilikatisches Material definiert, das durch die Aktivierung eines Vorläufers mit Alkalihydroxid oder Alkalisilikat gebildet wird. Der Vorläufer wird typischerweise als fester Pulverstoff bereitgestellt, kann jedoch auch in anderer Form vorliegen. Geopolymere gehören zur breiten Klasse der alkaliaktivierten Bindemittel [5].

Eine bemerkenswerte Eigenschaft von Geopolymeren ist ihre hohe Stabilität und Beständigkeit gegenüber Wasserlösung. Diese resultiert daraus, dass ihre Bindungsphasen aus einem Alkali-Aluminosilikat-Gel bestehen, in dem Aluminium und Silizium in einem dreidimensionalen tetraedrischen Gerüst miteinander verbunden sind [6].

Aufgrund dessen eröffnet sich eine Vielfalt an Anwendungsfeldern insbesondere im Bauwesen [5]. Geopolymere, die durch die Wechselwirkung zwischen alkalischer Lösung und aluminosilikathaltigen Vorläufern gebildet werden, weisen beeindruckende mechanische, thermische und chemische Eigenschaften auf.

Diese Eigenschaften machen sie zu einer vielversprechenden nachhaltigeren Alternative zu herkömmlichen Portlandzement- oder Magnesitbindemitteln.

Calcinierte Tone, insbesondere Metakaolin, haben in der jüngsten Forschung im Bereich der Bindemittel verstärkte Aufmerksamkeit erfahren. Metakaolin hat aufgrund seiner hervorragenden puzzolanischen Eigenschaften seit mehr als zwei Jahrzehnten eine zentrale Rolle bei der Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Beton. In unserem speziellen Kontext, der Herstellung alternativer Bindemittel wie Geopolymere, spielt Metakaolin eine Schlüsselrolle.

Wasserglas, auch Natrium- oder Kaliumsilikat, ist ein Alkalisilikat, das aus Silikaten und unterschiedlichen Anteilen von Alkalioxyden besteht. In unserer spezifischen Anwendung verwenden wir flüssiges Kaliwasserglas, das sich durch seine hohe Viskosität und Oberflächenspannung auszeichnet, wodurch es kaum kristallisiert [8].

### 1.2.2 Verfügbarkeit und Zugänglichkeit

Sowohl calcinierte Tone, insbesondere Metakaolin, als auch Kaliwassergläser sind verlässlich verfügbar und in verschiedensten Industrien in Verwendung.

So würde die in BioBauMat vorgestellte Anwendung von Metakaolinen zwar in Konkurrenz mit Nachfrage aus der Papier- und Keramikindustrie, was andererseits eine kontinuierliche Verfügbarkeit gewährleistet und die im Vergleich zu anderen Tonmineralen kostenintensive Herstellung rentabel macht [7]. Ein erheblicher Teil des Abbaus findet in Deutschland statt und standardisierte Produktionsverfahren sind eine Gewährleistung für gleichbleibende Qualität.

Für Wassergläser gibt es ebenfalls standardisierte Produktionsverfahren. Auch hier gibt es bereits eine Reihe an industriellen Anwendungen vor allem in der Bauindustrie. Dazu zählen beispielsweise die Versiegelung, Grundierung und Abdichtung. Aufgrund der Herstellung wird es als gebrauchsfertige Lösung angeboten, was eine einfache und effiziente Anwendung ermöglicht und die prozesstechnischen Maßnahmen umgeht, die beim Verarbeiten von Pulvern notwendig sind.

### 1.2.3 Verarbeitbarkeit

Zahlreiche Experimente zur Verarbeitbarkeit haben gezeigt, dass alkalisch aktivierte Bindemittel, wie es für herkömmliche Bindemittel die bevorzugte Aufbringungsmethode ist, sprühbar ist.

Der zeitliche Verlauf der Haftwirkung bis zur maximalen Haftkraft ist durch die Reaktionszeit, die beispielsweise durch genaue Zusammensetzung des Bindemittels beeinflusst werden kann, in weiten Grenzen einstellbar.

Sowohl die flüssige Formulierung als auch die Rezeptur mit gelöstem Pulver wurden in Versuchen getestet, wobei die Verarbeitung des trockenen Pulvers komplexer war.

### 1.2.4 Ökobilanz

Im Vergleich zu zementbasierten Produkten haben Geopolymere im Allgemeinen eine deutlich bessere Ökobilanz, da sie in der Herstellung weniger Energie benötigen und somit einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweisen. Die Produktion von Zement erfordert hohe Temperaturen, was zu einem erheblichen Ausstoß von Treibhausgasen, insbesondere CO<sub>2</sub>, führt [9]. Die Zementproduktion trägt mit 5% zu den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei [15]. Im Gegensatz dazu erfolgt die Herstellung von Geopolymeren bei niedrigen Temperaturen, was den Energieverbrauch reduziert und somit auch die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verringert [9].

Darüber hinaus können Geopolymere im Gegensatz zu anderen mineralischen Bindemitteln aus Sekundärrohstoffen hergestellt werden. Als Beispiel hierfür sei Kaliwasserglas genannt, das aus Abfallglas gewonnen wird. Dieses Vorgehen ist ressourcenschonend und vermeidet Abfall.

Die günstige Ökobilanz von Geopolymeren macht sie zu einer vielversprechenden Alternative in der Baubranche, um den ökologischen Fußabdruck zu reduzieren und eine nachhaltige Bauweise zu fördern.

### 1.2.5 Kosten

Die Kosten von Geopolymeren setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, nämlich der Beschaffung der Rohstoffe, der Aufbereitung dieser Rohstoffe und der eigentlichen Verwendung des Geopolymers. Die Beschaffung

der Rohstoffe für die Geopolymerproduktion ist gut etabliert und es existiert ein Markt für die benötigten Materialien. Es sind sogar bereits Fertigprodukte auf dem Markt erhältlich, was die Verfügbarkeit der Rohstoffe erleichtert. Die Technik zur Aufbereitung der Rohstoffe ist bereits vorhanden und in der Industrie standardisiert. Dadurch kann die Produktion von Geopolymeren effizient und in großem Maßstab durchgeführt werden. Die Verwendung von Geopolymeren ist ebenfalls bereits im industriellen Maßstab erprobt. Es gibt bereits zahlreiche Anwendungen in verschiedenen Industriebereichen, was die Praxistauglichkeit und den Einsatz von Geopolymeren untermauert. Insgesamt sind die Kosten für die Herstellung und Verwendung von Geopolymeren gut beherrschbar und die Technologie ist bereits weit fortgeschritten, was sie zu einer vielversprechenden Option als nachhaltiger und ökonomisch vertretbarer Baustoff macht.

### **1.3 AP 2 Formulierung des Baustoffs**

#### **1.3.1 Garantie eines guten Verbundes**

Die Entwicklung des Baustoffs erfolgt durch die gezielte Kombination von Rohrkolben und Geopolymeren. In diesem Kontext wird der schmalblättrige Rohrkolben, *Typha angustifolia*, als primäre Rohstoffquelle genutzt. Durch eine spezifische Schnitttechnik werden die Rohrkolben in Partikel mit einer Querschnittsgröße von drei bis sechs Millimeter und einer Länge von etwa sechs bis zehn Zentimeter zerkleinert. Diese Partikel werden anschließend mit der zuvor beschriebenen Geopolymer-Mischung behandelt, indem sie besprüht, gepresst, ausgehärtet und abschließend bearbeitet werden. Dieser aus Rohrkolben und Geopolymeren bestehende Baustoff weist dabei eine besonders einzigartige und vielseitige Zusammensetzung auf, die ihn für diverse Anwendungen prädestiniert.

Anhand etlicher Vorversuche konnte festgestellt werden, dass das Geopolymer eine eindeutig bessere Bindewirkung vorweisen kann als z.B. ein Magnesit-Binder. Die Rohrkolbenpartikel brauchen nur eine geringere Menge an Bindemittel, um sie miteinander zu verkleben miteinander, was den großen Vorteil einer besseren Wärmedämmung mit sich bringt. Das Produkt wurde bezüglich seiner mechanischen Eigenschaften geprüft

#### **1.3.2 Herstellungsparameter und Ermittlung der Materialeigenschaften beeinflussender Parameter**

Im Rahmen der Untersuchung der Materialeigenschaften des analysierten Baustoffs nimmt die Geometrie der Partikel eine zentrale und grundlegende Stellung ein. Diese Geometrie erlaubt naturgemäß Variationen hinsichtlich diverser Partikelgrößen. Die Breiten können über die Abstände zwischen den Schneidwerkzeugen und die Längen über die Geschwindigkeit der Querschneideeinrichtung angepasst werden, was zu einer vielfältigen Variation von Partikelgeometrien führt. Diese variierenden geometrischen Charakteristika tragen maßgeblich zur Ausprägung unterschiedlicher Materialeigenschaften bei. Ein bemerkenswertes Beispiel hierfür ist die signifikante Korrelation zwischen einer

feineren Partikelgröße und einem erhöhten Bindemittelbedarf, der wiederum zu einer erwarteten Steigerung der Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs führt. Im Gegensatz dazu ist zu erwähnen, dass trotz einer erhöhten Bindemittelkonzentration feinere Partikel eine Reduzierung der Materialfestigkeit bewirken können.

Die Verknüpfung zwischen der Partikelgeometrie und den Materialeigenschaften manifestiert sich in dieser Zusammenstellung deutlich, womit die herausragende Bedeutung der präzisen Abstimmung dieser Parameter hervorgehoben wird. Die gezielte Modulation der Partikelgröße eröffnet daher die Möglichkeit, gezielt die gewünschten Materialeigenschaften zu realisieren. Diese komplexe Interaktion zwischen der Partikelgeometrie und den Materialeigenschaften eröffnet ein facettenreiches Spektrum zur Optimierung und Anpassung des Baustoffs an spezifische Anwendungsbereiche. Dies unterstreicht umfassend die zentrale Rolle der Partikelgeometrie im Kontext der Baustoffentwicklung hinsichtlich der Eigenschaften und Leistungsfähigkeit des finalen Produkts.

### **1.3.3 Durchführung erster Vorversuche und Erfassen von Kennwerten**

Die Entwicklung des Verbundwerkstoffs involviert einen sequenziellen Prozess, in dem die Hauptkomponenten, nämlich Metakaolin, Kaliwasserglas und Wasser, im ersten Schritt in einem Mischer homogenisiert werden. Es erfolgt daraufhin die Befüllung des flüssigen Bindemittels in ein Sprühgerät, das ein zielgerichtetes und effizientes Aufbringen ermöglicht. Die vorher vorbereiteten und zugeschnittenen Typha-Partikel werden im nächsten Schritt in einem Rührmischer, bei kontinuierlicher Rotation der Partikel, schrittweise mit dem zuvor bereiteten Bindemittel besprüht. Diese Phase ist zentral, da sie die Grundlage für die adhäsive Verbindung zwischen den Rohrkolbenpartikeln und dem Bindemittel bildet.

Nachdem jedes Partikel mit der Bindemittellösung benetzt ist, erfolgt die Einbringung der Mischung in eine geeignete Form, welche anschließend unter Druck auf die gewünschten Maße kompaktiert wird (siehe Bild 1). Dieser Schritt ist wesentlich für die Entwicklung der gewünschten Verbundstruktur und -dichte des entstehenden Materials. Nach der Verdichtung und der Verriegelung der Pressform wird das geformte Produkt zur Aushärtung in eine Wärmekammer überführt (siehe Bild 2). Diese thermische Konditionierung ist maßgeblich für die Erzielung der gewünschten Festigkeitseigenschaften.

Sobald die Aushärtphase abgeschlossen ist, wird das nun ausgehärtete Rohrkolbenverbundmaterial aus der Form entnommen. Zur abschließenden Bewertung und Charakterisierung des Verbundmaterials werden mehrere spezifische Eigenschaften ermittelt. Hierbei werden nicht nur der haptische Eindruck, sondern auch Parameter wie die Rohdichte und die Wärmeleitfähigkeit in speziellen Messanordnungen des Fraunhofer-Instituts präzise bestimmt

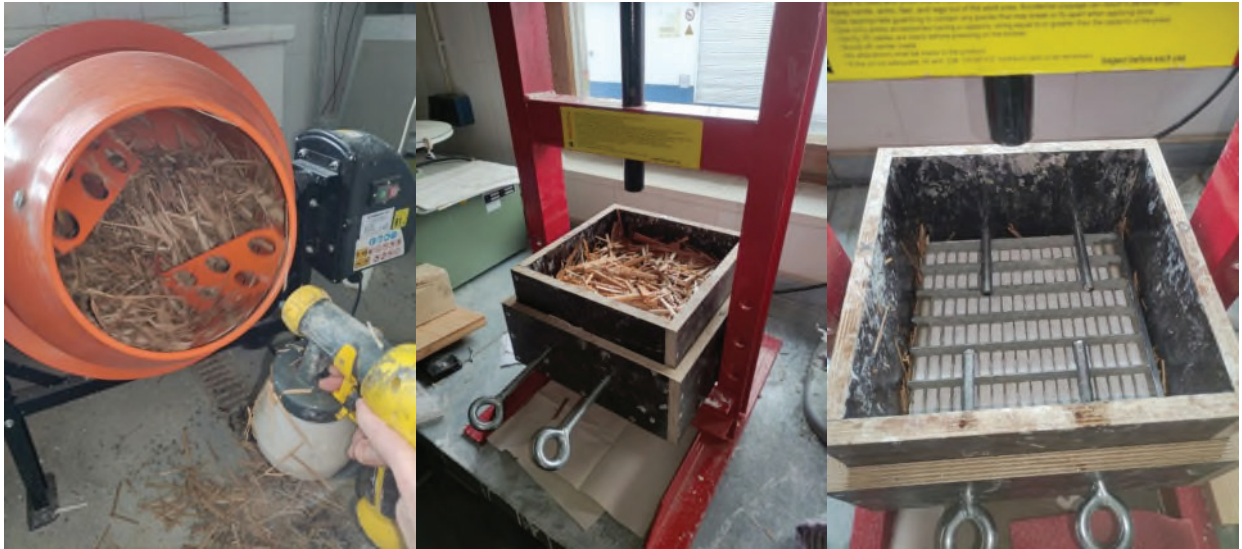


Bild 1:  
Beaufschlagung der Partikel mit Bindemittel/Partikel in der Pressform/Verriegelte Pressform nach Verdichtung.



Bild 2:  
Aushärtung im Heizschrank/ausgeschaltete Probe/Protokoll der Wärmeleitfähigkeitsmessung.

## 1.4 AP 3 Entwicklungsplan

### 1.4.1 Stakeholder – Analyse

Die derzeitige Rohstoffgewinnung konzentriert sich vorrangig auf Länder mit natürlichem Vorkommen wie Rumänien. In diesem Zusammenhang erfolgten der Anbau und die nachfolgende Lieferung der Rohstoffe nach Deutschland. Allerdings erweist sich diese Vorgehensweise aufgrund der geringen Rohdichte als wenig nachhaltige Lösung für die langfristige Zukunft. Um die Potenziale der Rohrkolbenkultivierung auch innerhalb Deutschlands effizient zu nutzen,

insbesondere im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Äquivalentreduktion durch die Renaturierung von Niedermooren, bedarf es einer innovativeren Herangehensweise.

Ein zukunftsorientierter Ansatz sieht vor, eine kleinere Produktionsanlage im nördlichen Teil Deutschlands zu etablieren. Dies würde ermöglichen, die geplanten Abbauverfahren für Rohrkolben eingehend zu erproben und zu optimieren. Jedoch beschränkt sich die Vision nicht nur auf die Inlandsressourcen Deutschlands. Vielmehr zeigt die Idee eines größeren Plattenherstellers, der seine Aktivitäten im Donau-Delta bündelt, das Potenzial für eine effektive Nutzung dieser Region. Hierbei könnten die Ressourcen des Donau-Deltas nicht nur optimal ausgeschöpft werden, sondern auch die Herstellungs- und Logistikprozesse mit strategischem Blick auf Effizienz gestaltet werden. Die Zusammenarbeit mit einem engagierten Plattenhersteller in diesem Gebiet würde eine bedeutsame Synergie zwischen den natürlichen Rohstoffvorkommen und der industriellen Produktion herstellen.

Dieses Konzept eröffnet Möglichkeiten zur Steigerung der Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit des Rohmaterials, während gleichzeitig ökologisch vorteilhafte Praktiken wie die Wiedervernässung von Niedermooren gefördert werden. Im Rahmen eines Demovorhabens bietet sich das Fraunhofer-Gelände als Freilanduntersuchungsort an. Hierbei könnte eine Partnerschaft mit Baustoffhandel, Baustoffanwendern und Baugenossenschaften eingegangen werden, um das Projekt umfassend zu integrieren und zu stärken. Dieser ganzheitliche Ansatz könnte nicht nur die Forschung und Entwicklung voranbringen, sondern auch die Realisierung praktischer Anwendungen im Einklang mit ökonomischen und ökologischen Zielen ermöglichen.

#### **1.4.2 Analyse der Anforderungen für eine erfolgreiche bauaufsichtliche Zulassung**

Für die Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind noch umfangreiche Prüfungen erforderlich, die in spezialisierten und akkreditierten Laboren durchgeführt werden müssen. Die Klassifizierung der Typha-Geopolymer-Platte als Tafелеlement eröffnet die Möglichkeit einer Zulassung mit einem Übereinstimmungszertifikat. Es ist zu beachten, dass die Typha-Geopolymer-Platte in die Kategorie der geraden Pflanzenrohstoffe fällt, für die derzeit weder Regelwerke noch nationale Normen oder Harmonisierungen existieren.

In dieser Hinsicht kann das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) auf Basis des Europäischen Bewertungsdokuments (EAD) eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) ausstellen. Hierbei wird der Einsatz von geraden Pflanzenrohstoffen über eine Zustimmung im Einzelfall zertifiziert. Bei den Zulassungsanträgen werden drei verschiedene Fälle unterschieden:

Fall 1:

Dies umfasst nur bauproduktbezogene Aspekte, was zur Ausstellung einer abZ für das spezifische Bauprodukt führt.

Fall 2:

Hierbei werden sowohl bauprodukt- als auch bauartenbezogene Aspekte

betrachtet, wodurch eine abZ für das Bauprodukt erteilt wird, die gleichzeitig eine Genehmigung für die spezifische Bauart umfasst.

Fall 3:

Dies bezieht sich ausschließlich auf bauartenbezogene Aspekte und führt nicht zur Ausstellung einer abZ, sondern einer allgemeinen bauaufsichtlichen Genehmigung (aBG).

Für die Erteilung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung werden spezifische Anforderungen an den Baustoff gestellt. Hierbei handelt es sich unter anderem um Stoffkennzahlen, Verarbeitbarkeit, Montage und weitere relevante Kriterien. Diese Anforderungen orientieren sich an vergleichbaren Baustoffen, sodass die Bewertung nicht nur für dämmende Baustoffe, sondern auch für tragende Baustoffe gilt. Als Vergleichsstoffe dienen beispielsweise »STEICOuniversal«, »STEICOprotect Typ H« und »YTONG Energy+« als dämmende Baustoffe.

Es ist jedoch zu beachten, dass aufgrund der individuellen Anforderungen des DIBt die spezifischen Kriterien und Ergebnisse trotz Ähnlichkeit mit anderen Stoffen variieren können. In Anbetracht der Komplexität und Vielseitigkeit der Anforderungen ist es erforderlich, die spezifischen Eigenschaften der Typha-Geopolymer-Platte im Kontext der bauaufsichtlichen Zulassung detailliert zu untersuchen und zu dokumentieren.

## **1.5 AP 4 Verwertungsperspektive und Marktbetrachtung**

### **1.5.1 Ermittlung eines geeigneten Einstiegs – und Zielmarktes**

Im Bereich der Innendämmung eröffnen sich bedeutende Marktchancen, insbesondere in Deutschland, wo das jährliche Potenzial etwa fünf bis sieben Millionen Quadratmeter beträgt. Ein Großteil dieser Nachfrage entfällt auf die Sanierung historischer Gebäude, in denen eine effektive Innendämmung von großer Bedeutung ist.

Jedes Jahr wird in Deutschland nahezu 15.000 Häuser im Holzbau oder in Fertigbauweise errichtet. Angenommen, das Geopolymer-basierte Board würde ausschließlich als Wandsystem und nicht als Innendämmung verwendet, könnte eine Produktionsmenge von 4.000 Kubikmetern pro Jahr die Konstruktion von etwa 150 Einfamilienhäusern ermöglichen. Dies entspricht zwar nur etwa 1 % des Gesamtmarktpotenzials, birgt jedoch erhebliche Wachstumschancen.

Der Markt setzt sich aus verschiedenen Akteuren zusammen, darunter kleine Handwerksbetriebe wie Zimmereien, die jährlich etwa 20 bis 50 Häuser errichten, sowie großen Fertighausherstellern, die Kapazitäten für die Produktion von 70 bis 500 Häusern pro Jahr haben. Diese Vielfalt an Marktteilnehmern bietet die Möglichkeit, das Geopolymer-basierte Board in unterschiedlichen Segmenten des Bauwesens zu etablieren und die Nachfrage zu steigern.

Der Einstiegsmarkt für das Produkt umfasst vorrangig die Innendämmung von Fachwerkgebäuden und historischen Bauwerken. Dieser Marktsektor zeichnet sich durch weniger strenge Zulassungsanforderungen für Baustoffe aus. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, zügiger auf den Markt zu gehen.

Das Geopolymer-basierte Board ist speziell entwickelt worden, um den Anforderungen eines hochdämmenden Wandbaustoffs für monolithisch tragende Konstruktionen gerecht zu werden. Mit seinen hervorragenden Dämmeigenschaften und seiner strukturellen Integrität bietet es eine ideale Lösung für dieses Marktsegment. Darüber hinaus erfüllt es die Anforderungen für aussteifende Füllungen, tragende Innenwände, und Innendämmungen, wodurch es sich als äußerst vielseitiges Material für eine breite Palette von Bauprojekten in diesem Sektor eignet. In Brandwandkonstruktionen und tragenden Deckenelementen findet dieses Board ebenfalls Anwendung und demonstriert seine Anpassungsfähigkeit an die Bedürfnisse dieses speziellen Zielmarktes [11].

### **1.5.2 Analyse von Verwertungspotentialen**

Im Hinblick auf das Verwertungspotenzial weist das Typhaboard, das mit Geopolymeren gebunden ist, verbesserte Dämmwerte im Vergleich zu Magnesitgebundenem Typhaboard auf und behält gleichzeitig eine gute Festigkeit bei. Diese Eigenschaften eröffnen vielversprechende Möglichkeiten für den Markt. Allerdings gibt es derzeit noch keine etablierten Produzenten für dieses Produkt. Dies ist größtenteils auf die noch nicht vorhandene Anbausituation von Rohkolben in Deutschland zurückzuführen. Die naheliegende Verwertungsoption könnte darin bestehen, Lizenzen an bestehende Baustoffhersteller zu vergeben oder eine strategische Überlegung anzustellen, ob die Produktion in einer kleineren Anlage in Deutschland oder in einer größeren Anlage im Ausland, beispielsweise im Donau-Delta, erfolgen sollte. Die Entscheidung hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Verfügbarkeit von Rohstoffen, der Logistik und der Marktnachfrage. Um das Verwertungspotenzial des Geopolymer-gebundenen Typhaboards zu demonstrieren, ist geplant, ein kleines Gebäude auf dem Testgelände des Fraunhofer-Instituts zu errichten. In diesem Demonstrationsszenario wird das Typhaboard als tragendes Element in einer Holzständerbauweise verwendet. Durch den Einsatz dieses statisch wirksamen Boards können die Holzständer außen am Gebäude angebracht werden. Das Board erfüllt somit sowohl strukturelle als auch dämmende Funktionen, was auf sein vielseitiges Verwendungspotenzial hinweist und als Beispiel für eine innovative Bauweise dient. Dieses Demonstrationsprojekt soll dazu beitragen, das Interesse der Baubranche an diesem innovativen Baustoff zu wecken und seine Verwendung in der Praxis zu fördern.

### **1.5.3 Vorläufige Geschäftsmodellentwicklung**

Ein mögliches Geschäftsmodell zielt darauf ab, ein Netzwerk zu schaffen, das die verschiedenen Prozessschritte in der Landwirtschaft, Produktion, im Vertrieb und in der Forschung und Entwicklung (FuE) integriert. Die Hauptrolle des zentralen Verwerter bestünde darin, dieses Netzwerk zu koordinieren, um

sicherzustellen, dass die gesamte Wertschöpfungskette, angefangen beim Abbau des Rohstoffs bis hin zur Baustelle, nahtlos abgedeckt wird.

Es könnten laufend neue Netzwerkpartner hinzugefügt werden, wobei die geplante Produktionsmenge bei 4.000 m<sup>3</sup> pro Partner und Jahr liegt. In den ersten sechs Monaten wird durchschnittlich nur die Hälfte dieser Menge produziert. Bei einem geplanten Verkaufspreis von 500 €/m<sup>3</sup> ergibt sich ein jährlicher Umsatz von zwei Millionen Euro pro Partner.

#### **1.5.4 Identifikation eines Wirtschaftsexperten/ -expertin**

Im Kontext des geplanten Projekts zur Verwertung dieses innovativen Baustoffs ist die Gründung eines eigenständigen Unternehmens vorgesehen. Das Gründungsteam, bestehend aus den Herren Tom Scharf und Wim Schiller, befindet sich derzeit im Fraunhofer-internen Inkubationsprogramm und arbeitet aktiv an der Vorbereitung eines Exist-Antrags. Obwohl zu diesem Zeitpunkt noch keine eigene rechtliche Unternehmenseinheit existiert, zeigen beide ein bemerkenswertes Engagement und beabsichtigen, ihre umfangreiche Expertise als Wirtschaftsexperten in das Projekt einzubringen.

Tom Scharf, der über mehr als ein Jahrzehnt Erfahrung als Architekt verfügt und dabei insbesondere im Bereich des Holz-Modulbaus tätig war, wird wertvolle Einblicke in die praktischen Anforderungen des Baustoffmarktes liefern können. Wim Schiller ergänzt das Team mit einem betriebswirtschaftlichen Hintergrund und ist gleichermaßen hochmotiviert, zum Erfolg des Projekts beizutragen. Derzeit suchen sie aktiv nach einem weiteren Teammitglied mit spezifischer Expertise im Bereich der Fertigungsprozesse.

Obwohl die Integration als assoziierter Partner in das Projekt derzeit nicht möglich ist, besteht ein erhebliches Interesse daran, den Weg mit diesem äußerst engagierten Team weiterzugehen. Dies erfordert jedoch eine deutliche Weiterentwicklung des Baustoffs, um ihn auf ein Niveau zu heben, das den hohen Anforderungen des Marktes gerecht wird und den Erfolg der geplanten Unternehmensgründung sicherstellt. Das Potenzial für diesen Baustoff wird als äußerst vielversprechend erachtet, und die Beschaffung der notwendigen Finanzmittel für die Entwicklungsphase wird als entscheidend betrachtet [12].

### **1.6 AP 5 Rohstoffversorgung**

#### **1.6.1 Derzeitige Situation**

Die Rohstoffversorgung für Geopolymere zeigt derzeit eine stabile Situation, ohne wesentliche Engpässe oder Probleme. Dieser Sektor verfügt über etablierte Märkte, Produzenten, Lieferanten und eine globale Präsenz. Hingegen liegt der besondere Fokus auf der Rohstoffbeschaffung hier im Zusammenhang mit dem Rohkolben. Gegenwärtig stammt ein Großteil des verwendeten Rohkolbens aus Rumänien, da im Donau-Delta natürliche Vorkommen vorhanden sind. Jedoch erweist sich der wirtschaftliche Aspekt des Transports eines derart

leichten Materials über eine Strecke von über 2000 Kilometern als kostspielig und unökonomisch.

Vor diesem Hintergrund ist es von entscheidender Bedeutung, in Deutschland geeignete Anbauflächen für Rohrkolben zu etablieren. Diese Maßnahme steht in direktem Zusammenhang mit der Wiedervernässung von Niedermooren. Die Entwässerung dieser Moore führt zur Freisetzung erheblicher Mengen an Treibhausgasen, was wiederum erhebliche Auswirkungen auf die nationale Emissionsbilanz hat. Gemäß dem Umweltbundesamt tragen Moore in Deutschland bereits mit 7,7 % zu den gesamten nationalen Treibhausgasemissionen bei. Berücksichtigt man zusätzlich die Emissionen von Kohlendioxid und Methan, wird deutlich, dass Niedermoore allein 45 % der Gesamtemissionen im Zusammenhang mit landwirtschaftlicher Nutzung ausmachen. Vor diesem Hintergrund rückt die Entwicklung von Anbauflächen für Rohrkolben in Deutschland und die damit einhergehende Wiedervernässung der Niedermoore in den Fokus. Diese Maßnahmen könnten nicht nur dazu beitragen, die negativen ökologischen und klimatischen Auswirkungen der trockengelegten Moore zu reduzieren, sondern auch neue ökonomische Chancen durch die nachhaltige Nutzung und Verarbeitung des Rohrkolbens eröffnen. Die Integration dieser Ansätze in eine ganzheitliche Strategie zur nachhaltigen Ressourcennutzung und wird somit zu einer zentralen Aufgabe im Kontext der aktuellen Umwelt- und Klimaherausforderungen [13].

Die Landwirtschaft trug im Jahr 2022 in Deutschland erheblich zu den Treibhausgasemissionen bei, wobei 77,5 % der Lachgasemissionen und 76,7 % der Methanemissionen auf landwirtschaftliche Aktivitäten entfielen. Diese beeindruckenden Zahlen unterstreichen die herausragende Bedeutung der Landwirtschaft für die Gesamtbilanz der Treibhausgasemissionen des Landes, wie vom Umweltbundesamt berichtet. Allein aus der Moor- und Torfnutzung in Deutschland stammten im Jahr 2022 etwa 7,8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, wie von Höper und Heinrich in ihrer Studie von 2007 aufgezeigt [13].

Theoretisch verspricht die Wiedervernässung von Moorstandorten klimapositive Effekte. Dennoch besteht in der Praxis ein erheblicher Bedarf an Forschung, um diese Effekte umfassend zu verstehen und zu quantifizieren. Einige frühere Studien deuten darauf hin, dass nach der Wiedervernässung von Mooren, insbesondere innerhalb der ersten fünf Jahre, eine erhöhte Freisetzung von Methan (CH<sub>4</sub>) beobachtet werden kann. Interessanterweise könnte diese vermehrte Methanemission die positiven Effekte auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz möglicherweise aufheben oder sogar überwiegen.

Die Forschung in diesem Bereich hat gezeigt, dass bei der Bewertung von Wiedervernässungsmaßnahmen nicht nur die Hydrologie, sondern auch die Vegetationsdynamik von großer Bedeutung ist. Die Artenzusammensetzung der Pflanzen, die in den wiederbefeuchteten Mooren wachsen, sowie ihre Wachstums- und Zersetzungsprozesse spielen eine entscheidende Rolle bei der Regulierung der Methanemissionen. Daher ist es unerlässlich, diese komplexen Wechselwirkungen zwischen Hydrologie und Ökologie zu berücksichtigen, um fundierte

Schlussfolgerungen über die langfristigen Auswirkungen der Wiedervernässung auf Treibhausgasemissionen und Ökosystemdienstleistungen ziehen zu können [14].

### **1.6.2 Identifikation geeigneter Rohstofflieferanten für das Entwicklungsprojekt**

Im Jahr 2022 initiierte die Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) ein Ausschreibungsverfahren zur Förderung von Paludikulturen. Ziel dieses Projekts ist die Errichtung einer kleinen, kontinuierlichen Fertigungsanlage in Form einer Demoanlage. Diese Anlage soll dazu dienen, die Machbarkeit des Anbaus und der Herstellung von Rohkolbenbasierten Produkten zu demonstrieren und deren wirtschaftliche Rentabilität zu beweisen. Die Identifikation geeigneter Rohstofflieferanten für dieses Entwicklungsprojekt ist von entscheidender Bedeutung, da sie die Grundlage für eine nachhaltige und zuverlässige Rohstoffversorgung darstellt. Die erfolgreiche Umsetzung dieses Projekts wird nicht nur dazu beitragen, die Effizienz und Rentabilität der Paludikultur zu verdeutlichen, sondern auch andere Landwirte und Interessengruppen dazu ermutigen, sich diesem vielversprechenden Ansatz anzuschließen. Es wird erwartet, dass eine solche Demonstrationseinrichtung als Katalysator für die Akzeptanz und Verbreitung dieser nachhaltigen Praktiken dient. Sobald Landwirte erkennen, dass der Anbau von Rohkolben wirtschaftlichen Erfolg verspricht, wird dies andere dazu ermutigen, sich diesem Ansatz anzuschließen, wodurch eine natürliche Integration in das bestehende landwirtschaftliche System erfolgt. Dieser Prozess der Identifikation und Mobilisierung geeigneter Rohstofflieferanten ist daher von zentraler Bedeutung für den Erfolg und die Verbreitung von Paludikulturen als nachhaltige landwirtschaftliche Praxis.

### **1.6.3 Akquise von Rohstofflieferanten für die Umsetzung im größeren Maßstab**

Das geplante Unternehmen der Wirtschaftsexperten strebt an, nachhaltige Bauprodukte zunächst auf dem deutschen und westeuropäischen Markt in Zusammenarbeit mit Partnern herzustellen und zu vermarkten. Dabei ist geplant, mehrere Produktionsstandorte in der Nähe der Rohstoffquellen zu etablieren, um den Transport von Rohstoffen über weite Strecken zu minimieren. Die speziellen Rahmenbedingungen des Produkts und des Marktes erfordern ein stark skalierbares Geschäftsmodell, das in der Lage ist, mit dem Markt und der Rohstoffversorgung mitzuwachsen. Es muss sowohl in der Anfangsphase, wenn der Markt noch eine Nische ist und Rohstoffe begrenzt verfügbar sind, als auch später, wenn der Markt umfassender ist und Rohstoffe reichlich vorhanden sind, funktionieren. Das Netzwerk setzt sich aus verschiedenen Akteuren aus den Bereichen Landwirtschaft, Produktion, Vertrieb und Forschung zusammen. Dabei nimmt das geplante Unternehmen, eine zentrale Rolle im Netzwerk ein. Das Team fungiert als Prozessinhaber und Koordinator des Netzwerks. Es gewährleistet, dass die gesamte Prozesskette von der Rohstoffherzeugung bis zur Baustelle innerhalb des gesamten Netzwerks abgedeckt wird. Das Team stellt sicher, dass allen Netzwerkpartnern die erforderlichen Informationen und Technologien zur Verfügung gestellt werden. Es verwaltet die Schnittstellen im

Netzwerk und ist für die kontinuierliche Weiterentwicklung der Produkte verantwortlich.

## 2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Sämtliche aufgeführten Arbeitsansätze stellen technologische Neuentwicklungen dar und sind daher mit gewissen entwicklungstechnischen und wirtschaftlichen Risiken für alle Beteiligten verbunden. Die gewährten Mittel wurden genutzt, um diese Risiken abzufedern, und um gestiegene Gesamtaufwendungen im Bereich FuE aufzustocken. Erst mit dieser Anschubfinanzierung wurde es möglich, die erforderlichen Baustoffe bzw. Materialien zu entwickeln und die Vorbereitung für einen marktfähigen Einsatz zu ermöglichen. Bei den Arbeitspaketen wurde auf einen sparsamen und angemessenen Einsatz der Mittel geachtet.

## 3 Voraussichtlicher Nutzen und Fortschreibung des Verwertungsplans

Im Hinblick auf den voraussichtlichen Nutzen und die Fortschreibung des Verwertungsplans sind mehrere wichtige Aspekte zu berücksichtigen. In Bezug auf geistiges Eigentum (IP) und Patente wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt, wobei festgestellt wurde, dass es zahlreiche Patente im Bereich der Anwendung von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoffe gibt, jedoch bisher keine, die die Verwendung von Geopolymeren als Bindemittel abdecken. Eine IP-Sicherungsstrategie wurde entwickelt, die die Anmeldung eines Produktpatents für Baustoffe auf Typha-Basis vorsieht. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um zukünftigen Lizenznehmern den notwendigen Schutz zu bieten und das Verwertungspotenzial zu steigern.

Hinsichtlich des Verwertungspotenzials des Typhaboards, das mit Geopolymeren gebunden ist, zeigt sich eine vielversprechende Entwicklung. Es weist verbesserte Dämmwerte im Vergleich zu Magnesit-gebundenem Typhaboard auf und behält gleichzeitig eine gute Festigkeit bei. Allerdings gibt es derzeit keine etablierten Produzenten für dieses Produkt, was teilweise auf die fehlende Rohkolben-Anbausituation in Deutschland zurückzuführen ist. Die Verwertungsoptionen könnten darin bestehen, Lizenzen an bestehende Baustoffhersteller zu vergeben oder strategische Überlegungen anzustellen, um die Produktion entweder in Deutschland in kleineren Anlagen oder im Ausland, wie dem Donau-Delta, in größeren Anlagen durchzuführen. Die Entscheidung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, darunter die Verfügbarkeit von Rohstoffen, die Logistik und die Marktnachfrage. Um das Verwertungspotenzial des Geopolymer-gebundenen Typhaboards zu demonstrieren, ist geplant, ein Gebäude auf dem Testgelände des Fraunhofer-Instituts zu errichten, bei dem das Typhaboard als tragendes Element in einer Holzständerbauweise verwendet wird. Dieses Demonstrationsprojekt soll das Interesse der Baubranche wecken und die praktische Anwendung dieses innovativen Baustoffs fördern.

Im Rahmen der bewilligten Machbarkeitsphase des Projektes wird er Baustoff nun weiterentwickelt und zusammen mit den Wirtschaftsexperten die Verwertung geplant.

#### **4 Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Während der Projektlaufzeit sind keine nennenswerten Fortschritte in diesem Gebiet durch andere Stellen bekannt geworden.

#### **5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.5 der NABF/NKBF**

Das Projekt wurde auf der Webseite des Fraunhofer IBP veröffentlicht. [10] Dort wird auch der Abschlussbericht zur Verfügung gestellt werden. Weitere Veröffentlichungen sind dann im Rahmen der Machbarkeitsphase des Folgeprojektes geplant.

## Literaturverzeichnis

- [1] Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021.
- [2] Destatis, S. B.: Starke Preisanstiege bei Baustoffen im Jahr 2021. Pressemitteilung Nr. N 044. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21\\_N044\\_61.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21_N044_61.html), 31.01.2022.
- [3] Baumarkt 2020. Perspektiven 2021. Berlin Juli 2021.
- [4] Theuerkorn, W., Fritsch, A., Mach, M., Krus, M., Großkinsky, T., Fitz, C., Theuerkorn, D., Knodt, H., Walter, U.: Neuer Baustoff für umweltfreundliche und bautechnische Sanierung in der Denkmalpflege. DBU-Bericht (Förderkennzeichen AZ 27918).
- [5] J. L. Provis and J. S. J. Van Deventer, Geopolymers: structures, processing, properties and industrial applications. Woodhead, Cambridge, UK, 2009.
- [6] Zhenming li, Peng Gao und Guang Ye (2017), Experimental study on autogenous deformation of metakaolin based geopolymer, [https://www.researchgate.net/publication/327552724\\_Experimental\\_study\\_on\\_autogenous\\_deformation\\_of\\_metakaolin\\_based\\_geopolymer/link/5ce91b2d299bf14d95b7e0be/download](https://www.researchgate.net/publication/327552724_Experimental_study_on_autogenous_deformation_of_metakaolin_based_geopolymer/link/5ce91b2d299bf14d95b7e0be/download)
- [7] André Trümer (2020), Calcinierte Tone als Puzzolane der Zukunft – Von den Rohstoffen bis zur Wirkung im Beton, Bauhaus-Universität Weimar, Dissertation (uni-weimar.de).
- [8] Christ, A. (1994), Chemie und Eigenschaften von Wasserglas, Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, <https://web.archive.org/web/20120104090216/http://www.baufachinformation.de/denkmalpflege.jsp?md=1997117109303>
- [9] Davidovits, J.: Geopolymer chemistry and applications. Saint-Quentin: Institut Géopolymère March 2020.
- [10] [Biobasierte Baustoffinnovation aus Rohrkolben und Geopolymer - Fraunhofer IBP](#)
- [11] Krus Martin und Giglmeier Sabine, Innovative building with cattail as raw material, Fraunhofer institute, 03.10.23.
- [12] Krus Martin und Giglmeier Sabine, Biobasierte Baustoffinnovation aus Rohrkolben und sekundären Rohstoffen, Fraunhofer Institut, 03.10.23.
- [13] Höper, Heinrich, 2007: Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. In: TELMA - Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde, Band 37: 85 - 116, DOI: 10.23689/fidgeo-3035.

- [14] Huth Vytas, Günther Anke u.a., Treibhausgas-Emissionen aus wiedervernässten Niedermooren Nordostdeutschlands, Treibhausgas-Emissionen-aus-wiedervernaessten-Niedermooren-Nordostdeutschlands.pdf (researchgate.net)
- [15] Neufert Winfried, Reuken Ines, Weber Georg, Müller Christoph, Palm Sebastian, Severins Katrin, Graubner Carl-Alexander, Proske Tilo und Rezvani Moien (31.08.2016), Erforschung des Dreistoffgemisches Klinker, Hüttensand und Kalksteinmehl mit dem Ziel der Absenkung des Klinkeranteils im Zement zu Verminderung der CO<sub>2</sub> – Emissionen in der Zementproduktion, Deutsche Bundesstiftung Umwelt.  
<https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28790-02.pdf>

## Bildverzeichnis

Bild 1: Beaufschlagung der Partikel mit Bindemittel/Partikel in der Pressform/Verriegelte Pressform nach Verdichtung.	9
Bild 2: Aushärtung im Heizschrank/ausgeschalte Probe/Protokoll der Wärmeleitfähigkeitsmessung.	9