

# Entwicklung eines baubiologisch hochwertigen Wärmedämmverbund- systems auf Basis von Schilf

R. Wimmer, R. Bintinger, S. Eikemeier, S. Prokupek

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

# 59/2012

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Entwicklung eines baubiologisch hochwertigen Wärmedämmverbund- systems auf Basis von Schilf

Dr. Robert Wimmer, Mag. (FH) Rudolf Binting,  
DI (FH) Sören Eikemeier, Stefan Prokupek,  
MA Magdalena Burghardt  
Gruppe Angepasste Technologie, TU Wien

Dr. Heinrich Bruckner  
TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Baustofflehre,  
Werkstofftechnologie und Brandsicherheit

Thomas Zöllner  
Nordson Deutschland GmbH

BIA Bau Innovation Alternativ GmbH  
Bau-Natürlich OEG, Schmidt & Rosman  
Schilfgewinnung Sumalowitsch  
SERA Lizenzen GmbH  
Häuser in Wolle Reichel & Naar Ges.n.b.R.  
Österr. Institut für Baubiologie und – ökologie GmbH

Wien, März 2010

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

**Wir danken den folgenden Unternehmen für Ihre Unterstützung im Rahmen des Projekts:**

Graphisoft Deutschland GmbH

Henkel Central Eastern Europe GesmbH

Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH

WEM Wandheizung GmbH

REHAU GesmbH

Lignotrend Produktions GmbH

STEICO AG

Zehentmayer Software GesmbH

## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>Projektabriss</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>15</b>
1.1. Ziele, Methoden und Ergebnisse.....	15
1.2. Innovationsgehalt des Projekts.....	17
<b>2. Grundlagenerhebung</b> .....	<b>19</b>
2.1. Wärmedämm-Verbundsysteme.....	19
2.1.1. Systemvarianten.....	19
2.1.2. Komponenten und Aufbau.....	20
2.1.3. Richtlinien und Normen.....	20
2.1.4. Zusammenfassung.....	22
2.2. Schilfrohr.....	22
2.2.1. Der Rohstoff Schilfrohr.....	22
2.2.2. Schilfrohr als Bau- und Dämmstoff.....	29
2.2.3. Zusammenfassung.....	36
<b>3. Dämmstoffentwicklung auf Basis von Schilf</b> .....	<b>37</b>
3.1. Anforderungsprofil.....	37
3.2. Herstellung von Schilfrohrplatten mit Bindemitteln.....	39
3.2.1. Bindemittel.....	40
3.2.2. Prototypenentwicklung.....	41
3.2.3. Vergleich der Prototypen.....	59
3.3. Ermittlung von Materialkennwerten.....	60
3.3.1. Wärmeleitfähigkeit.....	61
3.3.2. Wasseraufnahme.....	64
3.3.3. Brandverhalten.....	69
3.3.4. Vergleich der Dämmstoffvarianten nach Materialkennwerten.....	73
3.4. Auswahl von Schilf-Dämmstoffvarianten für ein WDVS.....	75
3.5. Weiterentwicklungspotenzial der Dämmstoffentwicklung.....	76
<b>4. Außendämmung – Entwicklung eines Wärmedämm-Verbundsystems</b> .....	<b>77</b>
4.1. Entwicklungslinie und angewandte Methodik.....	77
4.2. Konstruktionstyp 1 – Verdübelung von Schilfrohrplatten.....	78
4.2.1. Verbesserung der Dämmplatte und der Befestigung.....	83
4.2.2. Entwicklungsergebnis Konstruktionstyp 1.....	88
4.3. Konstruktionstyp 2 – Holzkonstruktion mit loseem Schilf.....	91
4.3.1. Befestigungssystem.....	94
4.3.2. Dämmschicht.....	99
4.3.3. Abschluss- bzw. Putzträgerplatte.....	103
4.3.4. Entwicklungsergebnis Konstruktionstyp 2.....	104
4.4. Sonderfall lasttragende Strohballenwand.....	108

4.5.	Putzoberflächen .....	113
4.5.1.	Anforderungsprofil .....	113
4.5.2.	Systemaufbau .....	114
4.5.3.	Kalkputzvarianten.....	117
4.5.4.	Thermisches Verhalten der Putzvarianten.....	124
4.5.5.	Feuchtigkeitsspezifisches Verhalten der Putzvarianten .....	125
4.5.6.	Zusammenfassung der Ergebnisse und Systemauswahl .....	128
4.6.	Technische Detaillösungen .....	129
4.6.1.	Armierung und Kantenschutz .....	130
4.6.2.	Dachanschlüsse (Trauf- und Giebelbereich) .....	135
4.6.3.	Sockel .....	136
4.7.	Weiterentwicklungspotenzial der Außendämmung .....	141
4.7.1.	Konstruktionstyp 1 – Verdübelung von Schilfrohrplatten.....	141
4.7.2.	Konstruktionstyp 2 – Holzkonstruktion mit losem Schilf .....	142
4.7.3.	Sonderfall lasttragende Strohballenwand .....	142
4.7.4.	Abschlussbeschichtung – Kalkputze .....	142
<b>5.</b>	<b>Innendämmung – Entwicklung eines Trockenausbau-Elements .....</b>	<b>144</b>
5.1.	Anforderungsprofil.....	144
5.2.	Prototypenentwicklung .....	146
5.2.1.	Schilfrohrplatte und Kalkputz.....	146
5.2.2.	Schilfgranulatplatte und Kalkputz .....	148
5.2.3.	Schilfgranulatplatte und WEM®-Element.....	150
5.2.4.	Thermoputz und Schilfhäcksel .....	152
5.2.5.	Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte mit wärmedämmendem Leichtputz und Heizrohren.....	153
5.3.	Vergleich der Prototypen.....	156
5.4.	Bauphysikalische Berechnungen.....	157
5.5.	Schlussfolgerungen.....	158
5.6.	Weiterentwicklungspotenzial der Innendämmung- Trockenausbauplatte.....	158
<b>6.</b>	<b>Sanierungskonzept .....</b>	<b>160</b>
6.1.	Auswahl eines geeigneten Sanierungsobjekts.....	160
6.1.1.	Bestimmung des geeigneten Gebäudetyps .....	160
6.1.2.	Ergebnis des Auswahlverfahrens .....	163
6.2.	Bestandserhebung und Substanzsicherung .....	165
6.2.1.	Bestandsdarstellung in Plan und Beschreibung.....	165
6.2.2.	Detaillierte Erhebung der Bauteile (Wand, Decke, Dach, Fundament) .....	169
6.2.3.	Erhebung konstruktiver Schäden im Bestandsmauerwerks .....	175
6.2.4.	Erhebung von Feuchtigkeits- und Versalzungsschäden .....	176
6.2.5.	Auswertung und Maßnahmenkatalog der Mindestsanierung .....	178
6.3.	Thermische Sanierungsvarianten .....	179
6.3.1.	Thermische Grundsanieung .....	180
6.3.2.	Variante 1 – Außendämmung.....	184
6.3.3.	Variante 2 – Innendämmung .....	194



6.3.4.	Bewertung der Sanierungsvarianten .....	202
6.4.	Optimierungspotential und Ausblick .....	205
<b>7.</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>206</b>
7.1.	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	206
7.2.	Beitrag zu den Zielen und Leitprinzipien der Programmlinie .....	207
7.3.	Zielgruppen des Projekts.....	208
7.4.	Marktpotenzial und Wirtschaftlichkeit .....	209
7.5.	Mögliche Weiterentwicklungen .....	211
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>212</b>
<b>9.</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>215</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>222</b>
<b>Aufgabenstellung/ Ziel:</b>	<b>.....</b>	<b>226</b>
<b>1.</b>	<b>Schilf- bzw. Hanfdämmung zwischen Lattung, Schilfplatte als Putzträger</b>	
	<b>230</b>	
9.1.	Variante 1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand.....	231
9.2.	Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Betonwand .....	232
9.3.	Variante 2: Ausgangsvariante mit Hanfdämmung und Ziegelwand.....	233
9.4.	Variante 3: Aufbau Var1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs ("Worst-Case") .....	234
9.5.	Bewertung des Wandaufbaus: .....	238
<b>2.</b>	<b>Reine Schilfrohrdämmung.....</b>	<b>240</b>
9.6.	Variante 1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand.....	241
9.7.	Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Betonwand .....	241
9.8.	Variante 2: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand Anschlussdetail Sockellattung .....	242
9.9.	Variante 3: Aufbau Var1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (=Worst-Case) .....	243
9.10.	Bewertung des Wandaufbaus: .....	246
<b>3.</b>	<b>Innenraumdämmung.....</b>	<b>248</b>
9.11.	Variante 1: Ausgangsvariante mit 2cm Innenwärmedämmputz.....	249
9.12.	Variante 1.1: Ausgangsvariante mit 2cm Innenwärmedämmputz und erhöhten internen Lasten .....	250
9.13.	Variante 2: Ausgangsvariante mit 1cm Innenwärmedämmputz.....	251
9.14.	Variante 2.1: Ausgangsvariante mit 1cm Innenwärmedämmputz und erhöhten Lasten	252
9.15.	Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell: .....	253
9.16.	Bewertung des Wandaufbaus: .....	256
<b>4.</b>	<b>Holzständerkonstruktion .....</b>	<b>257</b>
9.17.	Variante 1: Ausgangsvariante mit Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz).....	259
9.18.	Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz) Anschluss OSB Platte .....	260

9.19.	Variante 2: Ausgangsvariante mit Betonwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz).....	261
9.20.	Variante 3: Aufbau Var2 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (=Worst-Case) .....	262
9.21.	Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell: .....	263
9.22.	Bewertung des Wandaufbaus: .....	266

## Kurzfassung

Das Ziel von Wärmedämm-Verbundsystemen ist es, den Heizbedarf zu senken und damit sowohl Kosten einzusparen als auch klimaschädliche Emissionen zu verringern. Emissionen entstehen jedoch nicht nur durch Heizen, sondern auch durch die energieaufwändige Herstellung und Entsorgung von Dämmstoffen, die auf fossilen Ressourcen oder synthetischen Grundstoffen basieren. Gerade an diesem Punkt können Alternativen entwickelt werden, und zwar durch die Verwendung nachwachsender Rohstoffe, die über ihren gesamten Lebens- und Nutzungszyklus CO<sub>2</sub> speichern, statt es freizusetzen.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden im Projekt Wärmedämm-Verbundsysteme entwickelt, die auf dem nachwachsenden Rohstoff Schilf basieren. Als Dämmstoff wird Schilf derzeit vor allem in Form von Schilfrohrplatten verwendet, die aber durch ihre Drahtbindung Mängel in Bezug auf Bearbeitbarkeit und bauphysikalische Eigenschaften aufweisen. Als Alternative wurden daher Versuche zur Herstellung von Schilfrohrplatten mit Bindemitteln durchgeführt. Das Ergebnis sind Prototypen einer mit aufgeschäumtem Thermoplast gebundenen Platte, die wesentliche Verbesserungen hinsichtlich Herstellungsaufwand und Bearbeitbarkeit zeigt. Als weiteres Ergebnis zeigte sich in der Ermittlung von Materialkennwerten die Möglichkeit, gehäckseltes Schilf als Dämmstoff zu verwenden.

Diese beiden Varianten wurden anhand von Musterwandversuchen genauer analysiert. Dafür wurden zwei Befestigungsmöglichkeiten – Verdübelung von thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten sowie Holzständer-/Stegträgersysteme mit losem Schilf – in praktischen Tests und mittels bauphysikalischer Berechnungen auf Dämmwirkung, Arbeitsaufwand und weitere relevante Eigenschaften untersucht. Dabei zeigte sich, dass mit der Variante „Stegträgersystem mit losem Schilf“ Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhaus-Standard erreicht werden kann, während sich die Verdübelung von Schilfrohrplatten vor allem für die nachträgliche Sanierung von Altbauten eignet. Auch ein System für den Einsatz von Schilfrohrplatten im lasttragenden Strohballenbau wurde getestet und bewertet. Für die Abschlussbeschichtung der Wärmedämm-Verbundsysteme wurden Kalkputzvarianten detailliert auf feuchtigkeitsspezifische und thermische Eigenschaften untersucht und verglichen, sodass am Ende Empfehlungen für spezifische Anwendungsfälle gemacht werden können. Technische Detaillösungen für problematische Bereiche, wie z. B. Giebel oder Sockel, wurden ebenfalls entwickelt.

Die Innendämmung, die z. B. für denkmalgeschützte Gebäude eine Option ist, stellt besondere Anforderungen an Wärmedämmsysteme, vor allem hinsichtlich Feuchteverhalten. Aufbauend auf diesen Anforderungen wurden im Projekt Gesamtlösungen entwickelt, die diffusionsoffene Schilfplatten mit Kalkputz und optional einem Wandheizsystem integrieren. Damit sind vorgefertigte Elemente für den Trockenausbau möglich.

Schließlich wurden die gesamten Entwicklungsergebnisse genutzt, um für einen ausgewählten Anwendungsfall ein Sanierungskonzept zu erstellen. In diesem werden die verschiedenen Dämmvarianten speziell an die vorhandene Bausubstanz angepasst und bewertet, sodass am Ende konkrete, umsetzbare Vorschläge für die Sanierung des Gebäudes stehen.

## Abstract

The idea of thermal insulation composite systems is to lower heating demand, and thus to reduce costs as well as emissions that are harmful to the climate. However, emissions are caused not only by heating, but also during energy-consuming production and disposal of insulation materials made of fossil resources or synthetic components. That's where alternatives should and can be sought through the usage of renewable resources, which store CO<sub>2</sub> throughout their whole life cycle instead of releasing it.

Considering this, thermal insulation composite systems based on the renewable resource reed were developed in this project. Reed as insulation material is currently being used mainly in the form of boards. These boards are bound by metal wires and therefore hard to manipulate, they also lack in structural-physical quality. In order to find alternatives, experiments were undertaken to produce reed boards bound by binding agents. The outcomes are prototypes of a board bound by foamed thermoplast that show significant progress in terms of manipulation and processing. Another possibility of using reed as insulation material showed when examining chaffed reed.

Those two alternatives were analysed further by constructing exemplary walls for the exterior insulation. Two ways of fastening were examined – dowels for thermoplast-bound reed boards and timber construction filled with chaffed reed. Practical tests and structural-physical calculations showed results for the insulation effect, labour input and other relevant properties of these systems. A timber construction filled with chaffed reed is suitable for low-energy and passive house standards, whereas dowelled reed boards show good results for the thermal insulation of old buildings. A system for the use of reed boards in straw-bale buildings was tested and evaluated as well. For the plastering of insulation systems, different forms of lime plaster were tested regarding their humidity and thermal properties. In the end, recommendations for specified cases of applications can be made. Technical details were developed for gable and other problematic areas.

The interior thermal insulation is a good option for heritage-protected buildings, but poses specific challenges, especially regarding humidity of the construction. Based on these requirements, systems were developed including permeable reed boards, lime plaster and, optionally, a wall heating system. Through integrating these components, prefabrication of elements for interior insulation is made possible.

In the end, all the results of the foregoing project developments were used to create a concept for the thermal renovation of a selected old building. Different options for thermal insulation were examined and evaluated to fit the existing building fabric and structure. This concept provides detailed plans for the renovation, ready for being implemented.

# Projektabriss

## 1. Ausgangssituation und Hintergrund

Die Wärmedämmung von Gebäuden ist zurzeit einer der am häufigsten eingeschlagenen Wege, um den Energieverbrauch in Altbauten (wie auch in Neubauten) zu senken, nicht zuletzt aufgrund immer strengerer Vorschriften und Standards vonseiten der Baubehörde und der Wohnbauförderung. Der Heizenergiebedarf wird durch diese Maßnahme drastisch reduziert und damit auch der **Verbrauch fossiler Ressourcen** wie Erdöl. Es greift jedoch zu kurz, nur die Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf zu beachten und nicht auch den Energieverbrauch, der vor der Installation und nach der Nutzungsdauer eines Dämmsystems besteht (also die „graue Energie“). Die derzeit am häufigsten verwendeten Dämmplatten werden aus EPS oder Mineralwolle hergestellt – Materialien mit einer schlechten Ökobilanz aufgrund der energieintensiven und emissionsreichen Produktion sowie der Unmöglichkeit, sie in den natürlichen Kreislauf rückzuführen.

Hier gilt es Alternativen aufzuzeigen und Produkte zu entwickeln, die über ihren gesamten Lebenszyklus den Ressourcenverbrauch gering halten. Gerade auch angesichts des **wachsenden Marktes für Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)** und der derzeit sinkenden bzw. unbeständigen Verfügbarkeit fossiler Ressourcen können nachwachsende und regional vorhandene Rohstoffe stärker für Dämmsysteme genutzt werden. Schilf ist einer dieser Rohstoffe der Zukunft, der nicht nur ökologisch nachhaltig ist, sondern auch von Natur aus ausgezeichnete Materialeigenschaften wie hohe Dämmwirkung, Schallschutz und Feuchteresistenz besitzt. Diese Vorteile in einem Wärmedämm-Verbundsystem umzusetzen, das konkurrenzfähig zu konventionellen am Markt erhältlichen Systemen ist, war die Zielsetzung des vorliegenden Projekts.

Wärmedämm-Verbundsysteme können, wenn sie eine gute Wasserdampfdurchlässigkeit aufweisen, das Durchfeuchten eines Mauerwerks verhindern und somit Schimmelbildung vorbeugen. Vor allem bei der Sanierung alter Gebäudebestände und denkmalgeschützter Bauwerke ist ein diffusionsoffener Wandaufbau von großer Bedeutung. Ein spezieller Anwendungsbereich für Wärmedämmungen ist daher die **Sanierung** von Altbauten. Die Wahl eines dampfdurchlässigen Dämmstoffs wie Schilf und einer entsprechend diffusionsoffenen Beschichtung ist dabei besonders wichtig.

Bei Bauten mit leichten Feuchteproblemen können die gängigen Dämmmaterialien wie EPS oder Mineralwolle nicht oder nur unzureichend helfen, da sie (zumindest in der günstigen Variante) nicht diffusionsoffen oder sogar selbst feuchtigkeitsempfindlich sind. Der **diffusionsoffene Rohstoff Schilf** ist hier eine natürliche Alternative.

Die Anwendung von Schilf als Dämmstoff für den Sanierungsbereich (z. B. für die Innendämmung, die bei denkmalgeschützten Gebäuden oft die einzige Möglichkeit ist) bietet somit einen Innovationsvorsprung vor konventionellen Dämmsystemen am Markt. Damit das Bewusstsein für die Vorteile dieses nachwachsenden Rohstoffs verbreitet wird, müssen vor allem auch Vorurteile abgebaut werden, die Schilf als „alten“, „unzuverlässigen“ Baustoff sehen. Das vorliegende Projekt soll dazu beitragen, indem aus dem Rohstoff ein Dämmstoff entwickelt wird, der den aktuellen Praxisanforderungen entspricht, und indem andererseits

gezeigt wird, dass der Einbau des entwickelten Schilf-WDVS auch bezüglich Arbeits- und Energieaufwand konkurrenzfähig zu bestehenden Dämmsystemen ist.

## 2. Ziele des Projekts

Die Anforderungen, die an ein WDVS auf der Basis von Schilfrohr gestellt werden, wurden zu Beginn durch Umfragen und Recherchen unter schilfverarbeitenden Unternehmen eruiert. Dadurch konnte ein praxisorientiertes Anforderungsprofil erstellt werden, das die Grundlage für die weiteren Entwicklungen bildete.

Als erster Schritt musste die Hauptkomponente des Wärmedämm-Verbundsystems, der **Dämmstoff aus Schilf**, optimiert werden. Die problematische Drahtbindung der derzeit üblichen Schilfrohrplatten sollte mittels einer anderen Lösung (z. B. durch ein Bindemittel) ersetzt werden, für die daraus entstandenen Dämmplatten wurden Kriterien zur Vergleichbarkeit wie z. B. Festigkeit, Gewicht und Abmessungen, ökologische Eigenschaften und kostenverursachende Faktoren definiert.

Für den Außenbereich sollte ein Prototyp mit hoher Dämmwirkung und baubiologisch einwandfreiem Aufbau entwickelt werden. Für das **Befestigungssystem** musste eine Lösung gefunden werden, die Lasten optimal abträgt und möglichst wenige Wärmebrücken bildet. Die **Abschlussbeschichtung** muss in ausreichendem Maße diffusionsoffen sein, um die Eignung der Schilfplatten für den Sanierungsbereich zu erhalten. Die Komponenten – Dämmstoff, Befestigung und Abschlussbeschichtung – waren aufeinander abzustimmen. Für die kritischen Bereiche Sockel, Giebel, Kantenschutz und Armierung sollten **technische Detaillösungen** entwickelt werden.

Im Innenbereich war das Ziel der Forschungsarbeiten, ein größtenteils vorgefertigtes, leicht montierbares, diffusionsoffenes **Trockenausbau-Element** zu konstruieren, in dem Wärmedämmung sowie Beschichtung bereits integriert sind.

Die Ergebnisse sollen schließlich auch in die Praxis umgesetzt und erprobt werden, und zwar an einem ausgewählten Sanierungsobjekt. Dabei gilt es das Gebäude effizient, baubiologisch hochqualitativ und unter dem höchstmöglichen Anteil nachwachsender Materialien zu sanieren. Für dieses Folgeprojekt sollten im gegenständlichen Projekt die notwendigen Vorarbeiten geleistet werden – eine fundierte Bestandserhebung des Gebäudes sowie Berechnung und Vergleich von Sanierungsvarianten –, mit dem Ziel, am Ende für das Gebäude ein **Sanierungskonzept** zu erhalten, welches das volle Potential der neu entwickelten Dämmsystemlösungen aufzeigt.

## 3. Methodische Vorgehensweise

Zunächst wurde der Ist-Stand im Bereich der Schilfdämmung erhoben. Dazu wurden Beispielbauten besichtigt, Umfragen unter schilfverarbeitenden Unternehmen durchgeführt und zusätzliche Recherchen vorgenommen. Auf Basis der gesammelten Erkenntnisse, die vor allem durch die Dokumentation mehrerer konkreter Anwendungsfälle die notwendige fachliche Tiefe erhielten, konnten detaillierte **Anforderungsprofile** für ein neu zu entwickelndes Schilf-WDVS erstellt werden.

Zur Optimierung des Schilfdämmstoffs wurden **Plattenprototypen** mit verschiedenen Kombinationen aus Schilfrohr bzw. Schilfhäcksel, unterschiedlichen Bindemitteln und

Füllstoffen hergestellt und durch **Versuchsreihen und Messungen** systematisch auf ihre Materialeigenschaften wie Dichte, Wasseraufnahme, Brennbarkeit oder Bearbeitbarkeit getestet. Im Laufe der Versuche erwiesen sich bestimmte Herstellungsverfahren als besser geeignet – beispielsweise das Aufschäumen des Bindemittels und der Auftrag in Bahnen –, die infolgedessen weiterverfolgt wurden. Zusätzlich wurde die Möglichkeit untersucht, loses Schilf (Schilfhäcksel bzw. Rohre) als Dämmstoff zu verwenden. Dazu wurden Materialkennwerte und Eigenschaften (z. B. Dichte, Brandverhalten, Wasseraufnahme) ermittelt.

Mit den am besten bewerteten Schilfplatten sowie mit losem Schilf wurden **Musterwände** an einem sanierungsbedürftigen Altbau errichtet. An diesem Anwendungsfall konnten einerseits technische Detaillösungen erprobt werden, andererseits konnten als Ergänzung **hygrothermische und bauphysikalische Berechnungen** durchgeführt werden. Damit wurden die Dämmstoffvarianten auch praktisch in der Anwendung getestet und verschiedene Befestigungssysteme (Verdübelung, Stegträgersysteme) untersucht. Zusätzliche **Musterflächen** und Messungen dienten der Ermittlung der besten Beschichtungslösung.

Für den Innenbereich wurden Dämmsysteme entwickelt, die Schilfrohrplatten, Kalkputz und optional ein Heizsystem integrieren. Dazu wurden verschiedene Schilfdämmplatten, Kalkputzvarianten und Wandheizungsrohre und -elemente kombiniert und verglichen.

Für die Vorplanung eines Sanierungsprojekts wurde ein geeignetes Gebäude ausgewählt, dessen Sanierungspotenzial analysiert und die notwendigen **Sanierungsmaßnahmen** festgelegt. Unterschiedliche Varianten der Dämmung (innen/außen) wurden anhand mehrerer Bewertungskriterien miteinander verglichen. Anhand dieser Vorgehensweise konnte ein umfassendes Konzept für die Sanierung erstellt werden.

#### 4. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Einen zentralen Entwicklungsvorsprung stellt die Herstellung von **thermoplastgebundenen Schilfdämmplatten** dar, die ohne Draht verbunden werden und damit die Problembereiche der aktuellen Variante beseitigen (schwierige Verarbeitung, Wärmebrücken, problematische Entsorgung). Auch die Dämmstärke der Platten konnte leicht auf 10 cm erhöht werden. Die Untersuchung von **losem Schilf** als Alternative erwies sich ebenfalls als sehr fruchtbar für die Entwicklung eines Wärmedämm-Verbundsystems, da eine hohe Dämmwirkung bei gleichzeitig geringem Material- und Energieaufwand erzielt werden kann, ebenso wie hohe Flexibilität in der Anwendung.

Mit den erzeugten Schilfrohrplatten und losem Schilf konnten zwei unterschiedliche Konstruktionstypen für ein Gesamtsystem in der Praxis getestet und weiterentwickelt werden. Als Befestigung wurden einerseits **Verdübelung für 10 cm dicke Schilfrohrplatten mit Stufenfalz** und andererseits **Stegträger für die Füllung mit losem Schilf** verwendet. Auch eine Anwendungsmöglichkeit für Schilfrohrplatten im lasttragenden Strohballenbau wurde dargestellt. Die praktischen Versuche und bauphysikalischen Berechnungen zeigen, dass die Verdübelung der Schilfrohrplatten sich gut für Mindestwärmeschutz bei nachträglichen Sanierungen eignet, während mit Stegträgersystemen und Schilfhäcksel bei relativ geringem Arbeitsaufwand Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhaus-Standard im Neubau erreicht werden kann.

Für die Anwendung der entwickelten Systeme werden **technische Detaillösungen** für die Bereiche Sockel, Giebel, Kantenschutz und Armierung präsentiert, die einen sicheren und energieeffizienten Einbau gewährleisten. Als Abschlussbeschichtung wurden mehrere **Kalkputzvarianten** verglichen und die am besten geeigneten je nach Anwendungsfall ausgewählt.

Für die Innendämmung wurden mehrere Gesamtlösungen, die Dämmplatte, Putz und optional zugleich eine Wandheizung integrieren, auf ihre Kennwerte sowie praktischen Eigenschaften hin überprüft und miteinander verglichen. Für ein ausgewähltes System wurden zusätzliche bauphysikalische Überprüfungen durchgeführt.

Zum Zwecke einer möglichen praktischen Umsetzung der Entwicklungsergebnisse wurde außerdem ein **Sanierungskonzept** für einen konkreten Anwendungsfall erarbeitet, in dem die verschiedenen Dämmvarianten (Innen-/Außendämmung) detailliert überprüft und bewertet wurden.

## 5. Ausblick

Als wesentlicher weiterer Entwicklungsschritt sollten die Ergebnisse des Projekts – Prototypen für die Wärmedämmung sowie technische Detaillösungen – in einem **Demonstrationsprojekt** umgesetzt werden. Als Vorbereitung für dieses Folgeprojekt wurde bereits in diesem Projekt ein Sanierungskonzept für ein ausgewähltes Gebäude erstellt. Als Anforderung gilt, das Gebäude effizient und baubiologisch hochqualitativ zu sanieren. Dadurch wird einer breiteren Öffentlichkeit sichtbar gemacht, welche Verbesserungen durch die Wärmedämmung mit Schilf möglich sind. Gleichzeitig können in **Langzeittests** die Eigenschaften des entwickelten Schilf-WDVS laufend beobachtet, auf wissenschaftlichem Niveau dokumentiert sowie ausgewertet und infolgedessen verbessert werden.

Diverse **Disseminationsmaßnahmen** sind zusätzlich geplant: Die Prototypen werden auf Messen und Tagungen präsentiert. Desweiteren wird die Demonstration in Ausstellungsgebäuden der Programmlinie „Haus der Zukunft“ angestrebt. Die Erfahrungen können auch im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen und über die Website [www.nawaro.com](http://www.nawaro.com) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, wobei die funktionalen Vorteile und die Vorteile in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung herausgearbeitet werden.



# 1. Einleitung

Gebäude brauchen Energie – bei ihrer Errichtung, während ihrer Nutzung, für ihren Rückbau. Damit sich dieser Energiebedarf möglichst wenig auf Umwelt und Klima auswirkt, sind zwei Wege möglich: Zum einen kann der Energiebedarf klimaneutral gedeckt werden, zum anderen kann bereits der Bedarf selbst reduziert werden. Für Ersteres kann Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugt werden. Zweiteres kann auf verschiedene Weise erreicht werden; der Energiebedarf von Gebäuden wird jedenfalls immer dann stark reduziert, wenn auch der Heizwärmebedarf gesenkt wird. Einer der effizientesten Wege dorthin liegt in der **Wärmedämmung** von Gebäuden.

Besonders hohes Einsparpotenzial liegt in der nachträglichen Dämmung von Altbauten – vor allem aus der Bauperiode zwischen 1945 und 1980 –, deren Bausubstanz einen schlechten Wärmeschutz aufweist. Die thermische **Sanierung** mithilfe von Wärmedämmung ist daher ein spezieller Fokus der vorliegenden Arbeit.

Energie und Ressourcen werden jedoch nicht nur zum Heizen benötigt, sondern auch für die Herstellung von Bau- und Dämmstoffen. Auch dabei gibt es Möglichkeiten der Einsparung: Dämmstoffe aus **nachwachsenden Rohstoffen** (Schilf, Holz, Stroh,...) benötigen nicht nur für ihre Produktion wesentlich weniger Energie als synthetisch hergestellte oder auf fossilen Ressourcen basierende Materialien, sondern speichern auch CO<sub>2</sub> – während des Wachstums der Pflanzen ebenso wie nach ihrem Einbau als Dämmstoff. Nach ihrem Nutzungszyklus können sie problemlos rezykliert oder entsorgt werden, z. B. durch thermische Verwertung.

Der nachwachsende Rohstoff **Schilf** eignet sich aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften sehr gut als Dämmstoff und ist in Österreich und Europa in großen Mengen verfügbar. Das macht ihn zu einem geeigneten Ausgangsstoff für die Entwicklung eines baubiologisch hochwertigen Wärmedämm-Verbundsystems.

Der vorliegende Bericht ist in folgende **Kapitel** gegliedert: In Kapitel 2 werden zunächst die Grundlagen beschrieben, die den Ist-Stand darstellen – einerseits allgemeine Bedingungen für Wärmedämm-Verbundsysteme, andererseits Informationen über den Rohstoff Schilf und seine derzeitige Verwendung im Bausektor. Aufbauend auf diesen Grundlagen folgt die Darstellung der Entwicklungen und Ergebnisse in den Kapiteln 3 bis 6 (Details siehe unten, Tabelle 1). Den Abschluss bildet Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse mit Bezug auf die Ziele der Programmlinie sowie Angaben zu Zielgruppen, Marktpotenzial und Demonstrationsvorhaben.

## 1.1. Ziele, Methoden und Ergebnisse

Die Einzelziele des Projekts und die Methoden, die jeweils zur Zielerreichung eingesetzt wurden, sind in der folgenden Tabelle dargestellt, ebenso wie die erreichten Ergebnisse der jeweiligen Arbeitspakete und die Angabe der Kapitel, in denen die entsprechenden Ergebnisse zu finden sind.

Ziele	Methoden	Ergebnisse	Kapitel
<p><b>AP 1 – Verfahrens-entwicklung und Materialeigenschaften (Dämmstoffentwicklung)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Alternativen zur Drahtbindung der Schilfrohrplatten</li> <li>– Kenntnisse von Materialkennwerten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Expertenbefragungen, Recherchen</li> <li>– Prototypenentwicklung (Schilfplatten mit Bindemittel und evtl. Füllstoff)</li> <li>– Versuchsreihen und Messungen (u. a. Dichte, Wärmeleitfähigkeit, Wasseraufnahme, Brandverhalten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schilfplatten-Prototypen</li> <li>– Materialkennwerte und bauphysikalische Eigenschaften von Schilfplatten und loseem Schilf</li> </ul>	– 3
<p><b>AP 2 – Produktentwicklung diffusionsoffenes (Außenwand-)Wärmedämm-Verbundsystem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Lösungen für die Befestigung (Dübel oder Alternativen)</li> <li>– Lösungen für die Abschlussbeschichtung</li> <li>– Integration von Dämmstoff, Befestigung und Beschichtung zu Gesamtsystemen für NEH-/PH-Standard sowie für Mindestdämmung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Expertenbefragungen, Recherchen</li> <li>– Errichten von Musterflächen und Musterwänden an einem Anwendungsfall</li> <li>– Vergleich verschiedener Befestigungs- und Beschichtungsvarianten</li> <li>– hygrothermische und praktische Versuche</li> <li>– bauphysikalische Berechnungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prototypen und Systemvarianten für Außenwand-WDVS</li> <li>– bauphysikalische Kennwerte und Eigenschaften verschiedener Befestigungs- und Beschichtungsvarianten und der Gesamtsystemvarianten</li> </ul>	– 4
<p><b>AP 3 – Prototypen-entwicklung Trockenausbau-Element mit Schilf als Trägerplatte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verputztes Innendämmsystem, optional mit integrierten Wandheizungsrohren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Auswahl geeigneter Trägerplatten, Putzvarianten und Heizsysteme</li> <li>– Bau von Prototypen</li> <li>– Errichten von Musterwänden</li> <li>– hygrothermische und praktische Versuche</li> <li>– bauphysikalische Berechnungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prototypen von Trockenausbau-Elementen mit Schilf</li> <li>– Lösungen für verschiedene Systemvarianten</li> <li>– Kennwerte und bauphysikalische Eigenschaften</li> </ul>	– 4

<p><b>AP 4 – Technische Detaillösungen für typische Sanierungssituationen und Neubau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Lösungen für Sockel- und Giebelanschlüsse, Kantenschutz und Armierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recherche von Richtlinien, Normen und Stand der Technik</li> <li>– Errichten von Musterwänden</li> <li>– praktische Versuche</li> <li>– bauphysikalische Berechnungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Technische Detaillösungen der entwickelten Systeme für Sockel- und Giebelanschlüsse, Kantenschutz und Armierung</li> <li>– Lösungen im Neubau für Strohballenbau und Holzriegelkonstruktionen</li> <li>– Lösungen für Sanierung von Massivbauten mit Außen- und Innendämmung</li> </ul>	<p>– 4.6</p>
<p><b>AP 5 – Sanierungskonzept, Vorbereitung von Demonstrationsobjekten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Auswahl eines Demonstrationsobjekts</li> <li>– Erstellung eines Sanierungskonzepts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recherche, Bewertung und Auswahl möglicher Sanierungsobjekte</li> <li>– Plandarstellung, Analysen, Berechnungen und Simulationen verschiedener Sanierungsvarianten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Geeignetes Sanierungsobjekt als Ergebnis der Recherche</li> <li>– Fundierte Bestandserhebung des Objekts</li> <li>– Sanierungskonzepte für Außen- sowie Innendämmung</li> <li>– Auswahl des am besten geeigneten Konzepts</li> </ul>	<p>– 6</p>
<p><b>AP 6 – Projektmanagement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Koordination der Projektpartner und des Projektablaufes</li> <li>– Dokumentation der Arbeitsschritte</li> <li>– Berichtlegung</li> <li>– Projektcontrolling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Organisation und Koordination der Aufgaben</li> <li>– Fotografische Dokumentation und Protokollierung der Prototypenentwicklungen und Versuchsreihen</li> <li>– Verfassen des Endberichts</li> <li>– Projektcontrolling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erreichung der Projektziele</li> <li>– Dokumentation</li> <li>– Berichtlegung</li> </ul>	

Tabelle 1: Ziele, Methoden und Ergebnisse des Projekts

## 1.2. Innovationsgehalt des Projekts

Derzeit am Markt befindliche Wärmedämm-Verbundsysteme enthalten als Dämmstoff meist EPS- oder Mineralwolle-Platten.<sup>1</sup> Die Ökobilanz dieser Materialien ist jedoch problematisch: Für ihre Herstellung wird viel (nicht erneuerbare) Energie benötigt, sie sind nicht biologisch abbaubar bzw. auch nur bedingt rezyklierbar und können gesundheits- und

<sup>1</sup> <http://www.waermedaemmstoffe.com>; 13.08.2009.

umweltschädliche Emissionen verursachen. Wenn man bedenkt, dass der Markt für Wärmedämmungen derzeit wächst und immer mehr WDVS eingebaut werden, müssen auch die steigenden Baurestmassen berücksichtigt werden, die sich beim Abriss der gedämmten Gebäude ergeben werden. Aus all diesen Gründen ist es notwendig, ökologisch verträglichere und nachhaltige Alternativen zu entwickeln. Das vorliegende Projekt basiert daher auf der Nutzung des **nachwachsenden Rohstoffs Schilf**.

Die gute Dämm- und Schallschutzwirkung sowie die Einsetzbarkeit als Putzträger machen Schilfrohr zu einem Dämmstoff mit großem Verbreitungspotenzial. Weil der Rohstoff außerdem **diffusionsoffen und feuchteresistent** sowie auch ideal als Trennschicht zwischen versalzener Mauerwerk und neuem Kalkputz verwendet werden kann, eignet er sich besonders für Sanierungen, z. B. bei Altbauten und denkmalgeschützten Gebäuden. Gerade für die Innendämmung, die oftmals mit Problemen behaftet ist, haben diffusionsoffene Systeme mit Schilfrohr einen wesentlichen Vorteil, da in Kombination mit einer Wandheizung keine zusätzlichen Dampfbremsen notwendig sind und somit Bauschäden vermieden werden können. Die Kombination mit **feuchteausgleichenden und ökologisch vorteilhaften** natürlichen Kalkputzen ist ebenfalls durch den Einsatz von Schilf möglich.

Dämmplatten aus Schilfrohr bzw. Schilfgranulat sind bereits am Markt erhältlich, allerdings bestehen zurzeit noch Hindernisse auf dem Weg zu einem breit anerkannten und zertifizierbaren Dämmstoff (eine detaillierte Darstellung des Ist-Stands bei Schilfplatten findet sich in Kap. 2.2). Probleme betreffen vor allem die zu geringen Dämmstärken und die Drahtbindung der Platten, welche die Bearbeitbarkeit und Flexibilität verringert und zu Wärmebrücken führen kann. Als Innovationsvorsprung kann daher die Entwicklung von **stärkeren Plattenprototypen ohne Drahtbindung** gelten; auch die Möglichkeit, **loses Schilf ohne zusätzliches Bindemittel** für WDVS zu verwenden, wird durch entsprechende Versuchsreihen und Musterwände eröffnet.

Derzeit bestehende Techniken zur Anbringung von Schilfdämmplatten wurden ebenfalls untersucht und bewertet (siehe Kap. 4); eine Weiterentwicklung und Verbesserung dieser Techniken führte zu **Gesamtsystemen und technischen Detaillösungen**, die eine konkurrenzfähige Alternative zu derzeitigen Wärmedämm-Verbundsystemen darstellen – in Bezug auf Arbeitsaufwand, Ökobilanz und bauphysikalische Eigenschaften.

Auch für die **Innendämmung** wurden **Gesamtlösungen** entwickelt. Derzeit werden in diesem Bereich nämlich meist nur einzelne Komponenten angeboten – Dämmplatten, Putze und Anstriche, Heizsystem oder Befestigung. Im Gegensatz dazu werden diese Elemente hier bereits in einem Gesamtsystem integriert, was die Arbeitszeit bei der Montage verkürzt.

Ein umfassendes **Sanierungskonzept**, das mit den entwickelten Systemvarianten erarbeitet wurde, stellt schließlich die Grundlage dar für die Umsetzung der Projektergebnisse in einem Demonstrationsprojekt. Damit können die Innovationen **öffentlichkeitswirksam** präsentiert werden; die Vorteile von Schilf als Dämmstoff und die Anwendbarkeit der entwickelten Wärmedämm-Verbundsysteme können sich in der Praxis beweisen.

## 2. Grundlagenerhebung

### 2.1. Wärmedämm-Verbundsysteme

#### 2.1.1. Systemvarianten

Bei der Häuserdämmung unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Systemen: der Wand mit Innendämmung, bei der die Dämmschicht an der Innenseite der Wand befestigt ist, der zweischaligen Wand mit Kerndämmung, bei der die Dämmschicht zwischen den Außenwandkonstruktionen platziert ist, und der Wand mit Außendämmung, bei der die Dämmschicht an der Außenseite des Mauerwerks montiert ist (siehe).<sup>2</sup>

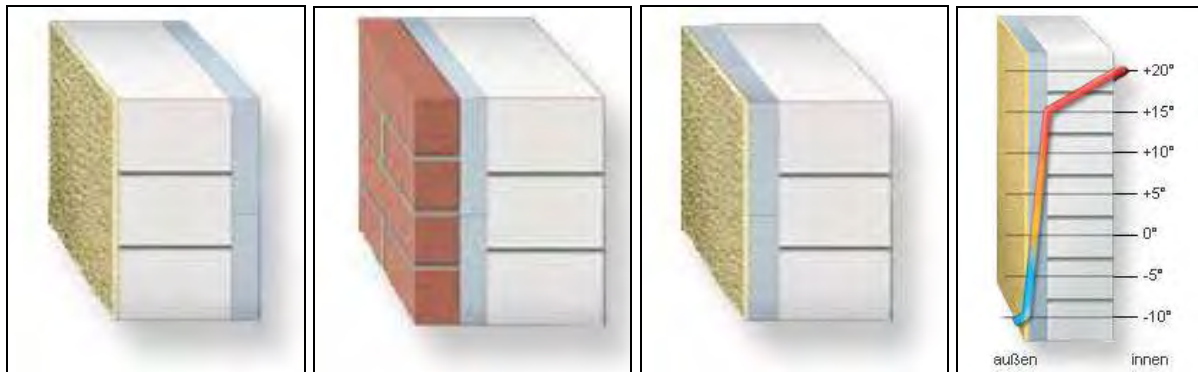


Abbildung 1: Vlnr: Innendämmung, zweischalige Wand, Außendämmung.<sup>3</sup> Ganz rechts: Temperaturverlauf in einer Außendämmung<sup>4</sup>

Von diesen drei Varianten ist die letztgenannte **Außendämmung** grundsätzlich die beste Konstruktion. Denn wie man auch am Temperaturverlauf in Abbildung 1 sehen kann, dringt bei diesem System weder Hitze noch Kälte bis zum Mauerwerk vor. Auf diese Weise kommt es zu keinen thermischen Beanspruchungen, und durch die höheren Temperaturen in der Wand wird gleichzeitig eine Tauwasserbildung vermieden. Die Dämmschicht kann hier zudem als Untergrund für die abschließende Wetterschutzschicht genutzt werden.

Die **zweischalige Wand** ist wärmetechnisch ebenso effizient wie die Außendämmung, allerdings fallen aufgrund der zwei Wände deutlich höhere Kosten an. Das WDVS mit Außendämmung ist daher prinzipiell die bevorzugte Variante.

Bei der **Innendämmung** hingegen sind die Temperaturen in der Außenwand niedriger, es kann zu Kondensation im Mauerwerk und infolgedessen zu Schimmelbildung und anderen Bauschäden kommen. Durch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen, vor allem durch die Verlagerung der Frostgrenze bis weit in die Mauer hinein, können Spannungen entstehen, welche wiederum Risse verursachen können. Weitere Schwierigkeiten beim System der Innendämmung sind Probleme z. B. bei der Installation von Steckdosen und natürlich der reduzierte Wohnraum. Andererseits ist die Innendämmung vor allem bei der

<sup>2</sup> Kap. 2 enthält Teile der Grundlagenerhebung des Projektmitarbeiters Eikemeier (2008).

<sup>3</sup> [http://www.daemm-info.de/daemmsysteme\\_vergleich.html](http://www.daemm-info.de/daemmsysteme_vergleich.html); 30.10.2008.

<sup>4</sup> [http://www.daemm-info.de/daemmsysteme\\_vergleich.html](http://www.daemm-info.de/daemmsysteme_vergleich.html); 30.10.2008.

Sanierung denkmalgeschützter Gebäude oft die einzige Möglichkeit der Wärmedämmung, wenn z. B. aus rechtlichen Gründen keine Veränderung der Bausubstanz vorgenommen werden darf und wenn die Außenfassade des Gebäudes erhalten bleiben muss.

### 2.1.2. Komponenten und Aufbau

Abhängig von den bauphysikalischen Gesetzmäßigkeiten sowie den statischen und konstruktiven Gegebenheiten gibt es Unterschiede beim Aufbau eines WDVS. Grundsätzlich jedoch besteht ein WDVS aus den folgenden Komponenten:

- **Dämmstoff:** Mineralische, erdölbasierte oder nachwachsende Stoffe werden als Dämmmaterialien eingesetzt, z. B. Mineralwolle, EPS, PU, Zellulose, Kork, Holzfasern oder eben Schilf. Der Dämmstoff kann in verschiedenen Formen eingebracht werden: als Platte/Matte, als Schüttung (z. B. Zelluloseflocken) oder in Form einer Einblasdämmung, die sich vor allem für die nachträgliche Dämmung eignet und eine fugenfreie Wärmedämmung auch bei unregelmäßigen Flächen oder Hohlräumen ermöglicht. Dämmstoffe, die in WDVS zur Anwendung kommen, müssen nach der ETAG 004 (Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen) auf folgende Kriterien für eine Zertifizierung überprüft werden: Querkzugfestigkeit, Scherbeanspruchung, Brandverhalten, Wasseraufnahme, Wasserdampfdurchlässigkeit, Wärmedurchlasswiderstand.
- **Befestigung:** Es kann entweder a) nur geklebt, b) geklebt und gedübelt oder c) ausschließlich mechanisch, z. B. mit einem Steg- oder Schienensystem, befestigt werden (siehe auch Kap. 4). Welche Art der Befestigung gewählt wird, hängt zunächst mit dem verwendeten Dämmstoff zusammen: Dämmplatten können verdübelt werden, während loser Dämmstoff, wie z. B. Zelluloseflocken, in ein Steg- oder Schienensystem eingebracht werden muss. Auch der jeweilige Untergrund muss für die Auswahl der Befestigung berücksichtigt werden, aber auch die Abschlussbeschichtung, da sich durch verschiedene Putzarten unterschiedliche Anforderungen an die statische Funktion des Befestigungssystems ergeben (z. B. weniger Gewicht durch Dünnputz, mehr Gewicht durch dickere Kalkputzschichten).
- **Abschlussbeschichtung:** Die Beschichtung sorgt unter anderem dafür, dass das WDVS beständig gegenüber unterschiedlichen Klima- und Wetterbedingungen ist. Es kann zwischen diffusionsoffenen und nicht diffusionsoffenen Beschichtungen unterschieden werden. Als Materialien können neben Putz auch z. B. Holz, Keramik oder Metall verwendet werden.

### 2.1.3. Richtlinien und Normen

Bei der Planung und der Ausführung eines Wärmedämm-Verbundsystems ergeben sich bestimmte Anforderungen aus Normen und Richtlinien. Dazu gehören die OIB-Richtlinien 5 (Schallschutz) und 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz) sowie Bestimmungen zum Niedrigenergiehausstandard. Die ÖNORMEN B 6400 und B 6405 enthalten Anforderungen an Außenwand-WDVS (z. B. in Bezug auf die Anbringung).

## Schallschutz, Wärmeschutz und Niedrigenergiehaus-Standard

Die OIB-Richtlinie 5 legt Anforderungen für den Schutz vor Schallimmissionen, für Lärminderung und Erschütterungsschutz fest. Dazu wird auf Mindestkriterien aus der ÖNORM 8115 (Schallschutz und Raumakustik im Hochbau) verwiesen.

In der OIB-Richtlinie 6 wird definiert, welche Anforderungen erfüllt werden müssen, um Energie- und Wärmeverluste zu vermeiden, Wärmebrücken und sommerliche Überwärmung zu vermeiden sowie die Luftdichtheit der Gebäudehülle zu gewährleisten.

Baudenkmäler sowie Gebäude, die für religiöse Zwecke genutzt werden, bzw. solche, die nicht konditioniert (beheizt, gekühlt etc.) werden, sind von dieser Richtlinie ausgenommen.

Für die Vermeidung von Energie- und Wärmeverlusten wird in der OIB-Richtlinie 6 zunächst ein maximaler jährlicher Heizwärmebedarf bestimmt (bezogen auf das Referenzklima gemäß OIB-Leitfaden), der sich für umfassende Sanierungen<sup>5</sup> ab 1.1.2010 folgendermaßen berechnet:<sup>6</sup>

Für Wohngebäude:  $HWB = 25,0 \cdot (1 + 2,5/l_c)$  kWh/m<sup>2</sup>a, wobei  $l_c$  = charakteristische Länge.<sup>7</sup> Höchstens darf der Heizwärmebedarf jedoch 87,5 kWh/m<sup>2</sup>a betragen.

Für Niedrigenergiegebäude wird z. B. im Rahmen der THEWOSAN-Förderungsschiene<sup>8</sup> nach der ÖNORM 8110, Teil 1 als maximal zulässiger Heizwärmebedarf folgender Maximalwert genannt:  $17 \cdot (1 + 2,5/l_c)$  kWh/m<sup>2</sup>a.

Ein wesentlicher Faktor für den Heizwärmebedarf sind unter anderem die U-Werte bestimmter Bauteile (z. B. Außen- und Innenwände, oberste Geschoßdecke, Fenster, etc.). In der OIB-Richtlinie 6 wird für Wände gegen Außenluft ein maximaler U-Wert von 0,35 W/m<sup>2</sup>K festgelegt; verschiedene Förderungen zur Erreichung von Niedrigenergiehaus-Standard sehen Werte zwischen 0,20 und 0,25 W/m<sup>2</sup>K vor.<sup>9</sup> Im vorliegenden Projekt wurde als Ziel für das zu entwickelnde Schilf-WDVS ein U-Wert von **0,20 W/m<sup>2</sup>K** definiert.

## Denkmalschutz

Bei Sanierungen von Gebäuden, die unter Denkmalschutz stehen, müssen zusätzlich zu allgemeinen technischen und bauphysikalischen Anforderungen auch die gesetzlichen Regelungen berücksichtigt werden. In Österreich gilt dazu das Denkmalschutzgesetz vom Jahr 2000.

Gemäß diesem Gesetz sind unbewilligte bauliche Maßnahmen, die „den Bestand (Substanz), die überlieferte (gewachsene) Erscheinung oder künstlerische Wirkung“ eines Denkmals beeinträchtigen könnten, verboten.<sup>10</sup> Das betrifft vor allem wärmedämmende Maßnahmen an der Außenwand, welche die Fassade oder die Dimensionen eines

<sup>5</sup> Hier wird das Augenmerk vor allem auf die Anforderungen für Sanierungen gelegt, da diese als Hauptanwendungsbereich für das entwickelte Schilf-WDVS gelten.

<sup>6</sup> Bei Wohnraumlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind entsprechende Reduktionen des maximal zulässigen Heizwärmebedarfs vorzunehmen.

<sup>7</sup> Charakteristische Länge  $l_c$ : Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes oder Gebäudeteils.  $l_c = V / A$  ( $V$  = Bruttovolumen,  $A$  = umschließende Oberfläche)

<sup>8</sup> Wohnfonds Wien 2009, S. 4.

<sup>9</sup> Vgl. Das Land Steiermark, A15 Wohnbauförderung 2010, S. 37; <http://www.e-government.bglg.gov.at/wbf/basisinfo/sanierungen.htm#uwert>; 20.01.2010.

<sup>10</sup> Denkmalschutzgesetz, § 4 Abs. 1

Gebäudes verändern würden. Im Fall von denkmalgeschützten Gebäuden muss daher eventuell auf eine Innendämmung ausgewichen werden, oder es sind entsprechende Speziallösungen zu entwickeln, wie z. B. die Rekonstruktion der Fassade auf einer wärmedämmenden Schicht.

### **Normen für die Aufbringung von Wärmedämm-Verbundsystemen**

Bei der Aufbringung eines Außenwand-WDVS<sup>11</sup> ist zunächst auf die Beschaffenheit des Untergrunds zu achten. Dieser muss, wenn das WDVS geklebt wird, tragfähig (keine losen Teile, Verschmutzungen etc.) und ausreichend eben sein, außerdem saugfähig, trocken und ohne Gefahr der Hinternässung des Systems. Entsprechende Prüfungen und evtl. Vorbereitungsmaßnahmen wie abkehren, austrocknen lassen etc. sind vorzunehmen.

Die Ausführung des WDVS muss bei mindestens 5 °C und vor Regen geschützt stattfinden, beim Putzauftrag ist direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden.

Besonders Anschlüsse (bei Fenstern, Türen, Dach etc.) sind kritisch, da hier bei Ausführungsmängeln die Gefahr von Wärmebrücken, Hinternässung (bei Schlagregen) oder Luftdurchlässigkeit verstärkt besteht. Beim Verlegen der Dämmplatten ist darauf zu achten, dass keine Plattenstöße an Fenster-/Türecke entstehen. Eventuelle Fugen bei Anschlüssen müssen durch Dichtbänder oder Profile abgedichtet werden. Der Sockelbereich ist als besonders spritzwassergefährdeter Bereich ebenfalls mit Bedacht zu behandeln.

#### **2.1.4. Zusammenfassung**

Die Anforderungen für die Entwicklung eines Wärmedämm-Verbundsystems ergeben sich also zunächst aus dem grundlegenden Systemaufbau – je nachdem, ob eine Außen-, Kern- oder Innendämmung zur Anwendung kommen soll, sind Faktoren wie Temperaturverlauf, Arbeitsaufwand etc. zu berücksichtigen. Weiters ist eine sinnvolle Integration der Komponenten vorzunehmen – Dämmstoff, Befestigung und Abschlussbeschichtung müssen aufeinander abgestimmt werden. Und schließlich ergeben sich Anforderungen aus den rechtlichen Rahmenbedingungen, z. B. hinsichtlich Energiestandards, Denkmalschutz oder Verarbeitungsrichtlinien.

Diese Grundlagen bilden den Rahmen, in dem ein Wärmedämm-Verbundsystem auf Basis von Schilf entwickelt werden soll. Inwiefern sich dieser Rohstoff für die Verwendung in einem WDVS eignet und welche grundlegenden Eigenschaften und Verarbeitungsmöglichkeiten er aufweist, wird im folgenden Kapitel näher dargestellt.

## **2.2. Schilfrohr**

### **2.2.1. Der Rohstoff Schilfrohr**

Schilf- oder Teichrohr (*Phragmites communis*), welches oft auch nur als Ried oder Schilf bezeichnet wird, gehört zu der Familie der Gramineen. Das Schilfrohr besteht aus drei

---

<sup>11</sup> Vgl. ÖNORM B 6410, S. 4–7.



Teilen: dem unterirdischen Rhizom, dem Wasserstängel und dem Luftstängel. Die steifen, mit Kieselsäure durchsetzten und zellulosereichen Halme der Schilfrohre weisen in regelmäßigen Abständen Internodien auf und sind an diesen Stellen durch Blätter zusätzlich geschützt. An ihrer Spitze besitzen die Halme außerdem eine bis zu 50 cm große aufgefächerte, gelbliche oder rötlich-braune Rispe.<sup>12</sup>

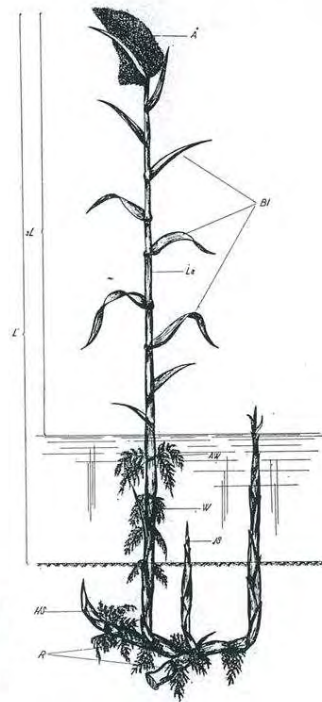


Abb. 3. *Phragmites communis* TRIN. Gesamtbild. R = Rhizom; W = Wasserstängel; Ls = Luftstängel; HS = Halmknospe; JS = Jungpflanze; AW = Adventivwurzel; Bl = Blätter; Ä = Ähre (nach RUDESCU et al. 1965).

Abbildung 2: *Phragmites communis* TRIN. Gesamtbild<sup>13</sup>

Den größeren Anteil der Pflanze macht jedoch der unterirdische Teil aus. Das sogenannte Rhizom ist ein dichtes, schnell wachsendes Wurzelgeflecht, welches anders als der oberirdische Teil der Pflanze auch den Winter überdauert. Aus diesen bilden sich Halmknospen, die sich in Richtung Wasseroberfläche bewegen und dort neue Halme bilden. Über das Austreiben der Samen kommt es nur selten zur Entwicklung von Jungpflanzen. Nach der Blüte verholzen die Halme und erreichen eine höhere Widerstandsfähigkeit. Zwischen November und Dezember fällt ein Großteil der Blätter ab. Die Rhizome erreichen ein Alter von 3–10 Jahren, während der Halm nach einem Jahr abstirbt. Das Schilfrohr wächst sehr schnell und erreicht beinahe seine vollständige Höhe in nur 4–5 Monaten. Damit sich größere Flächen an Schilfrohr bilden können, sind Unterbrechungen der jährlichen Entwicklung des Schilfrohrs notwendig. Diese können durch Frost im Winter oder lang andauernde Trockenheit erfolgen.<sup>14</sup>

### Der Schilfhalm und seine Eigenschaften

Der Schilfrohrhalm ist zylindrisch geformt und hohl und kann je nach geographischer Lage und den jeweiligen Umweltbedingungen unterschiedliche Dicken und Längen erreichen. Beispielsweise kann das Schilfrohr im Irak Längen von bis zu 8 m, Durchmesser von bis zu

<sup>12</sup> Schrader 1998, S. 75f.

<sup>13</sup> Rodewald-Rudescu 1974, S. 11, nach Rudescu et al. 1965.

<sup>14</sup> Rodewald-Rudescu 1974, S. 25ff.

32 mm am Halmende und Halm-Wanddicken von bis zu 5 mm erreichen. Im Vergleich dazu erreicht Schilf aus dem Donaudelta und dem Neusiedlersee eine Höhe von durchschnittlich 2,5 m und maximale Durchmesser von ca. 14 mm bei Wandstärken von rund 1,6 mm. Aufgrund der Abnahme der Wanddicke und des Rohrquerschnitts nimmt die Festigkeit des Stängels von der Halmbasis hin zur Spitze ab.<sup>15</sup>

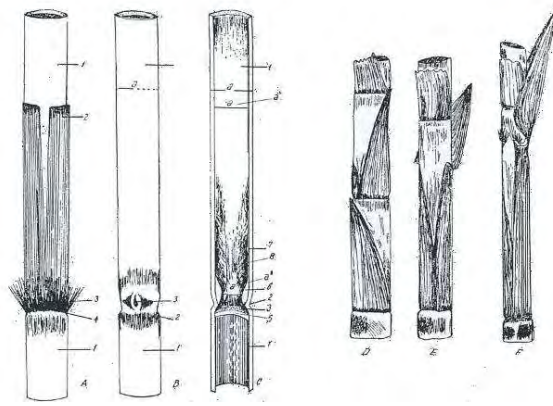


Abbildung 3: Halmaufbau und Blattbildung<sup>16</sup>

Anhand von Versuchen mit Schilfbündeln aus ca. 20 Einzelhalmen wurde in einer Studie festgestellt, dass die Festigkeit von Schilfrohr, bezogen auf die Dichte, etwa sechsmal so hoch ist wie bei Stahl und rund fünfmal so hoch wie bei Nadelhölzern. Die Biegefestigkeit, ebenfalls bezogen auf die Dichte, ist bei Schilfrohr durchschnittlich 15-mal so hoch wie bei Stahl und ca. 4,5-mal so hoch wie bei Nadelhölzern.<sup>17</sup>

Der Halm wird durch eine Schutzschicht (Epidermis) vor Umwelteinflüssen bewahrt. Diese bildet mit den beiden nächsten Schichten (siehe Abbildung 4) die Rinde des Halmes. Die Sauerstoffversorgung läuft über ein zusammenhängendes Luftkammernsystem von den Blättern über die Halme (Parenchym- und Aerenchymgewebe) in die Rhizomverzweigungen. Die Wasser- und Nährstoffzirkulation der Pflanze funktioniert mittels Transpiration und osmotischen Druck. Die Wasseraufnahme erfolgt über die Adventivwurzeln (Wasserblätter), das Wasser steigt durch die Holzgefäße des Halmes (Xylem) der inneren und äußeren Leitbündel des Halmes nach oben.<sup>18</sup>

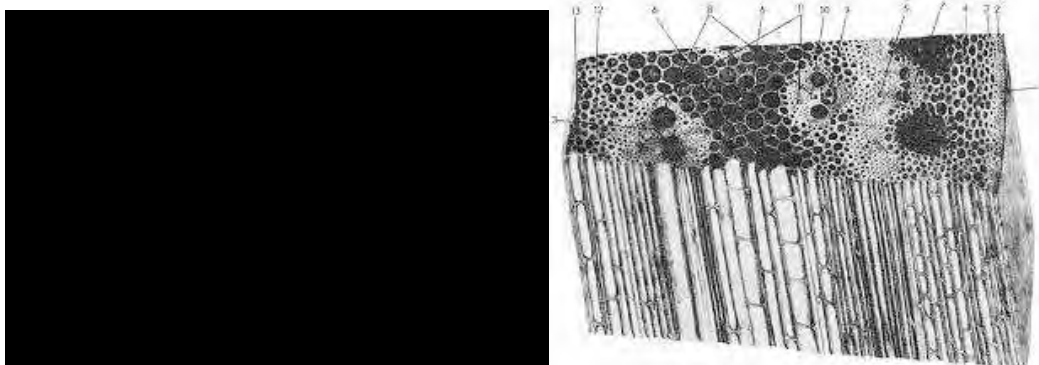


Abbildung 4: Hohlraumssystem im Halmquerschnitt<sup>19</sup>

<sup>15</sup> Ebd., S. 14f..

<sup>16</sup> Ebd., S. 13.

<sup>17</sup> Helal 1997, S. 81.

<sup>18</sup> Ebd., S. 61 ff.

<sup>19</sup> Rodewald-Rudescu 1974, S. 35.

Einige dieser Gefäß- und Leitbündel sind auch in Abbildung 5 (Mitte) erkennbar. Dadurch und durch die mittels eines Diaphragmas getrennten Internodien erfolgt die Dämmwirkung, wenn der Rohstoff in Form einer Schilfrohrplatte eingesetzt wird.



Abbildung 5: Mikroskopaufnahmen eines Schilfhalmes. Links: Halmquerschnitt mit Blatt. Mitte: Halmquerschnitt. Rechts: Halmquerschnitt mit sichtbarem Diaphragma.

### Chemische Zusammensetzung

Als wichtigster Faktor im Stoffhaushalt des Schilfrohres gilt Nitrat, danach Phosphat in 10-fach geringerer Menge, gefolgt von Kalium, Calcium und weiteren Spurenelementen. Ein hoher Kalkgehalt des Bodens führt zu weicherem und schwächerem Schilfrohr, während siliziumreicher Boden stabileres Schilfrohr hervorbringt. Die chemische Zusammensetzung des Schilfrohrs variiert je nach der geographischen Herkunft und den dort vorhandenen Biotopen (siehe dazu beispielsweise Tabelle 2).<sup>20</sup>

	Schilfrohr Donaudelta	Schilfrohr Ungarn	Weizenstroh	Fichtenholz
<b>Zellulose</b>	41,6 - 53,18	43,5 - 58	39 - 45,8	52,52
<b>Lignin</b>	19 - 24,12	18,0 - 24,0	19,2 - 20,2	32,79
<b>Pentosan</b>	18,02 - 26,6	22,0 - 26,9	28,3 - 33,7	8,23
<b>Asche</b>	1,2 - 5,3	5,4 - 6,3	4,0 - 5,46	0,26

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung von Schilfrohr, Weizenstroh und Fichte<sup>21</sup>

Beim Vergleich von Schilfrohr mit Weizenstroh und Fichtenholz ist ein ähnlich hoher Zellulosegehalt bei Schilfrohr und Fichtenholz erkennbar. Daher wurde Schilfrohr vor allem in Rumänien auch zur Zelluloseproduktion eingesetzt.

### Vorkommen

Schilfrohr gehört zu einer der am weitesten verbreiteten Pflanzen der Welt. Es ist häufig im Uferbereich stehender oder langsam fließender Gewässer oder auf sumpfigen Wiesen und Mooren zu finden. Die Pflanze kommt in vielen Gebieten der Erde vor; in Österreich befindet sich um den Neusiedlersee der zweitgrößte Schilfgürtel Europas,<sup>22</sup> am Bodensee erstreckt sich ein weiteres wichtiges Schilfgebiet, und auch in anderen europäischen Ländern, wie Ungarn, Polen oder Rumänien, ebenso wie in der Türkei und Ägypten, befinden sich große Schilfvorkommen, die einerseits mit ihrer spezifischen Flora und Fauna wertvolle Mikroklimata und Naturräume darstellen und gleichzeitig für die Rohstoffgewinnung genutzt werden können (siehe Abbildung 6).

<sup>20</sup> Ebd., S. 73f.

<sup>21</sup> Ebd., S. 209.

<sup>22</sup> <http://burgenland.orf.at/stories/254056/>; 10.03.2010.

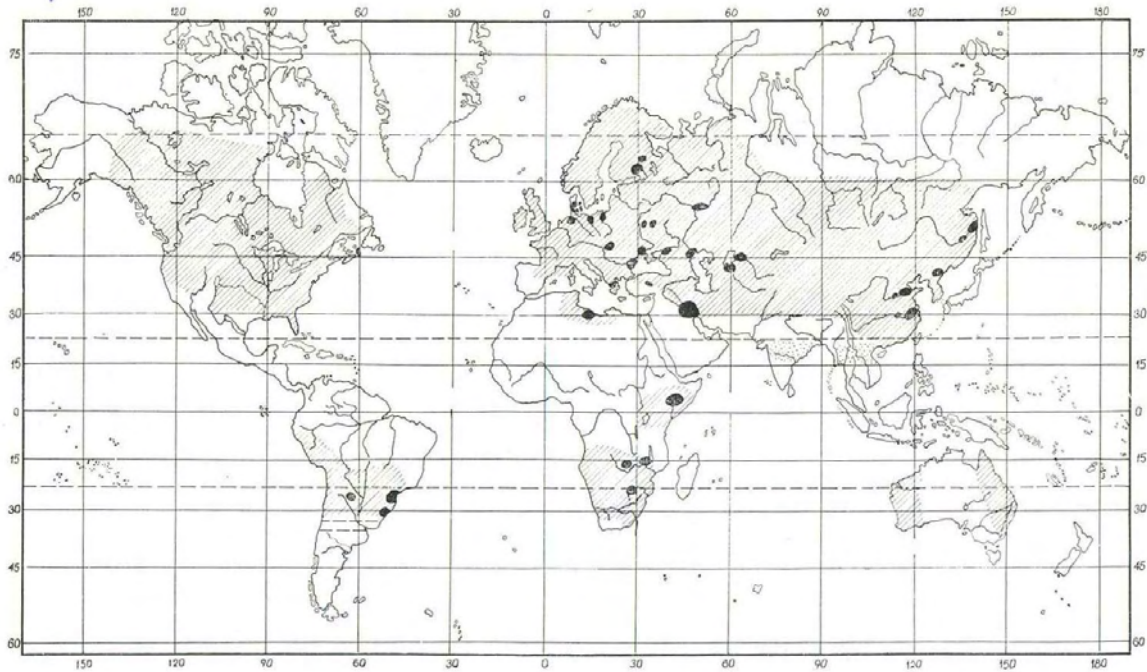


Abbildung 6: Verbreitung von Schilfrohr (*Phragmites communis*). Schwarze Flecken zeigen industriell verwertbare Schilfrohrflächen an<sup>23</sup>

Das Donaudelta in Rumänien stellt mit seinen zahlreichen Flussarmen und der dadurch bedingten geringen Fließgeschwindigkeit das größte zusammenhängende Schilfgebiet der Welt dar. Die Ernte und Nutzung des Rohstoffs Schilf ist hier dementsprechend bereits seit langem bekannt. Auch am Neusiedlersee können langjährige Erfahrungen mit der Schilfernte und -verarbeitung genutzt werden.

### Schilfernte und Lagerung

Die Schilfernte am Neusiedlersee kann zwischen Oktober und bis max. Ende März erfolgen. Da das Schilfrohr jedoch seine volle Reife (Verholzungsgrad) im Dezember erlangt, startet die Erntesaison erst zu diesem Zeitpunkt.

Das Schilf wird meist mittels selbstfahrender Erntemaschinen eingebracht, die oft, wie im Falle des Projektpartners Sumalowitsch, selbst entwickelt und gebaut wurden. An der Maschine erfolgt eine Vorreinigung (Blattentfernung), anschließend wird das Schilf in Bündeln auf der Ladefläche abgelegt, die anschließend zu einem Großbund abgebunden werden. Im Lager erfolgt eine Sortierung des Schilfs, wobei die dünnhalmigen Fraktionen zu Bündeln von 60 cm abgelegt werden. Diese werden exportiert und finden als Dachdeckschilf Anwendung. Halme mit größeren Durchmessern werden zu Schilfrohrplatten verarbeitet. Krummhalmiges Schilf wird entweder zu Schilfhäcksel weiterverarbeitet oder entsorgt.

<sup>23</sup> Rodewald-Rudescu 1974, S. 8.



Abbildung 7: Schilfrohernte

Als wichtigster Parameter für Schilfrohr guter Qualität gilt laut einem Bericht der QSR<sup>24</sup> der Wassergehalt des Erntematerials, der nicht über 18 % liegen sollte. Nach diesem Bericht können weitere Qualitätsparameter (vor allem bei der Verwendung als Dachdeckmaterial) der Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt, deren Verhältnis zueinander und der Gehalt an Lignozellulose sein. In jedem Fall ist auf eine gute Durchlüftung des Rohstoffes nach der Ernte und einen bauphysikalisch richtigen Einbau von Schilf zu achten.



Abbildung 8: Lagerung des Schilfrohrs

### Potenziale der Schilfrohrverwertung

Eine Betrachtung des österreichischen Dämmstoffmarktes zeigt, dass der Dämmstoffabsatz in den letzten 15 Jahren kontinuierlich gestiegen ist: Im Jahre 2008 lag er bei rund 5,8 Mio. m<sup>3</sup>(siehe Abbildung 9).<sup>25</sup>

<sup>24</sup> QSR – Gesellschaft zur Qualitätssicherung Reet mbH 2008, S. 113.

<sup>25</sup> Gemeinschaft Dämmstoff Industrie 2009. Siehe auch Kap. 7.4.

## Dämmstoffverbrauch Österreich 1993-2008

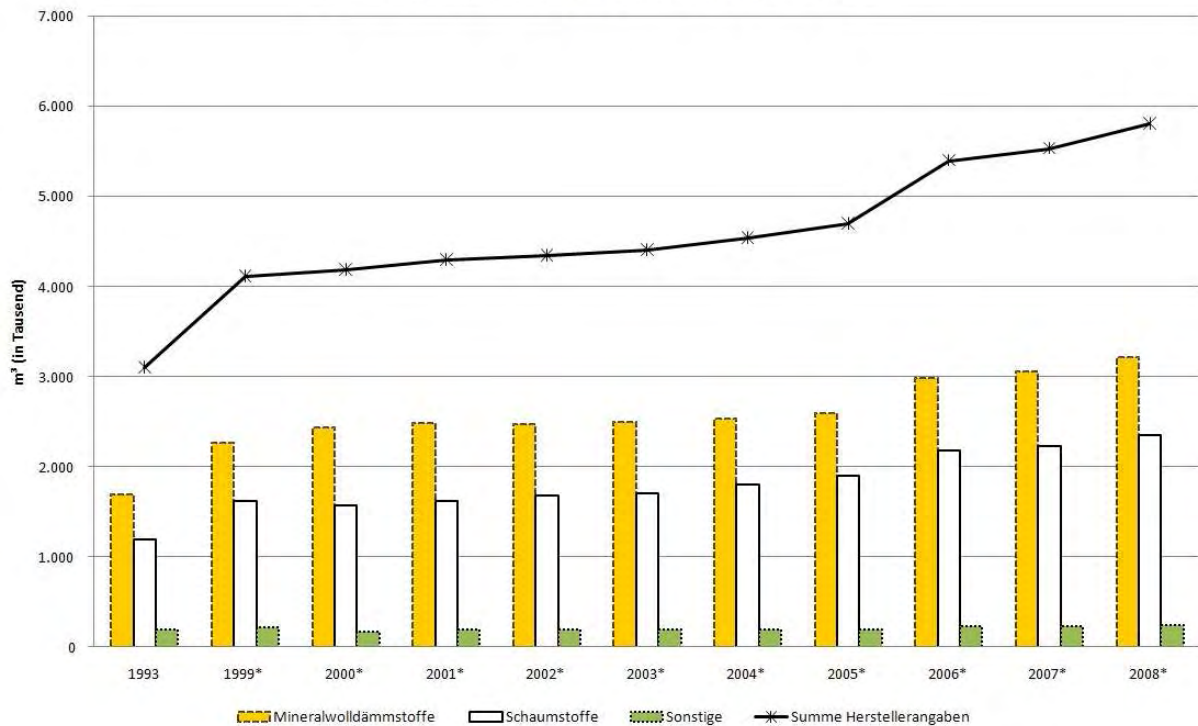


Abbildung 9: Dämmstoffverbrauch Österreich 1993–2008<sup>26</sup>

Am Beispiel des Neusiedlersees kann untersucht werden, wie weit dieser Dämmstoffbedarf mit dem Rohstoff Schilf gedeckt werden kann.

Zu Beginn ist festzuhalten, dass mit einer Schilfrohrfläche im Vergleich zu einem gleich großen Fichtenwald rund 4- bis 8-mal mehr Biomasse (je nach geographischer Lage, im Donaudelta ca. 6,6-mal mehr) erzeugt werden kann.<sup>27</sup> Der Neusiedlersee hat eine Schilffläche von 180 km<sup>2</sup>; auf der österreichischen Seite liegen davon 100 km<sup>2</sup>. Der größte Anteil davon befindet sich an der Westküste.

Mit einem durchschnittlichen angenommenen Hektarertrag von ca. 10 t könnten auf dieser Fläche 100.000 t Schilf geerntet und damit zwischen 0,53 und 0,67 Mio. m<sup>3</sup> Dämmstoff (bei einer Dichte von 150–190 kg/m<sup>3</sup>) hergestellt werden. Dies stellt eine grobe Abschätzung dar und würde einer Deckung von ca. 9 – 11,5 % des österreichischen Dämmstoffverbrauchs entsprechen. Detaillierte Auswertungen und ergänzende Informationen zur Schilfpflanze und verfügbaren Schilfpotentialen am Neusiedler See sind beispielsweise aus den Arbeiten von Gamauf 2000 bzw. Führer 2010 zu entnehmen (siehe Literaturverzeichnis). Im Moment werden weniger als zehn Prozent dieser Fläche bewirtschaftet. Das Schilfschneideunternehmen Sumalowitsch Erwin, Sitz in Podersdorf, erntet laut eigenen Angaben nur 10 % der eigenen Pachtfläche. Die Ursache dafür liegt in folgenden Gründen: Da die Technologie für die Herstellung von Schilfprodukten noch aus der Zwischenkriegszeit stammt und nicht erneuert wurde, hat die Schilfwirtschaft am Neusiedlersee an Bedeutung verloren. Nach wie vor werden zwar drahtgebundene Platten oder Matten hergestellt, diese benötigen aber einen hohen Personaleinsatz, und die Kosten für die Ernteeinbringung und Verarbeitung für einen gewinnbringenden Absatz in Österreich sind zu hoch. Die höchste

<sup>26</sup> Quelle: Gemeinschaft Dämmstoff Industrie 2009. Eigene Grafik.

<sup>27</sup> Rodewald-Rudescu 1974, S. 263.

Wertschöpfung haben die Schilfschneider beim Dachdeckschilf, das vor allem nach Deutschland, Holland und England exportiert wird. Für diese Verwendung wird ein- bis zweijähriges, kurzhalbiges, gerades Schilf benötigt. Allerdings ist der Anteil von hohem, bis 2,50 m dickem und oft auch krummhalmigem Schilf außerordentlich hoch, dieses kann jedoch auf dem Markt derzeit nicht gewinnbringend veräußert werden. Als Folge davon nehmen die Altschilfbestände zu und es kommt zu Schilfbränden am Neusiedlersee.

Neben dem wirtschaftlichen Aspekt sei hier vor allem auch der ökologische zu erwähnen. Die Schilfregion des Neusiedlersees ist eine große Filteranlage. Es wäre für den See außerordentlich wichtig, dass die in der Biomasse gesammelten Nährstoffe durch die Schilfernte wieder entnommen werden. Die regelmäßige Ernte wirkt der Verschilfung und Verlandung entgegen und begünstigt damit die Flora und Fauna der Gebiete. Eine positive Veränderung der Wasserqualität geht mit regelmäßig abgeernteten Schilfflächen einher. Für den Naturschutz wäre deshalb die Nutzung der Altschilfbestände von hoher Dringlichkeit. In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, geeignete Techniken und Maschinen zu entwickeln, die das Schilf in großen Mengen effizient ernten, ohne den Boden und die Schilfrohrhizome für die nächste Ernteperiode zu beschädigen.

Als Potenzial der Schilfverwertung konnten also sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile für die Rohstoffgebiete festgestellt werden.<sup>28</sup>

Zusätzliche Anreize, den Rohstoff zu nutzen, könnten durch die Entwicklung von effizienten Produktionsverfahren für Dämmstoffe geschaffen werden oder durch Möglichkeiten, auch die bisher wenig genutzten Schilfanteile zu verwerten. Eine Verbesserung dieser Potenziale war daher auch Ziel des vorliegenden Projekts.

Um die Nutzung von Schilfrohr zu verstärken, sind außerdem laut den NFI vor allem Verbreitungsmaßnahmen durch MultiplikatorInnen aus dem Bausektor notwendig; weiters würde ein EU-Qualitätssiegel die Verwendung des Rohstoffs begünstigen, ebenso wie öffentlichkeitswirksame Werbe- und Demonstrationsaktivitäten (wie z. B. die Dämmung des Besucherzentrums des Naturparks Neusiedlersee mit Schilf oder entsprechende Veranstaltungen und Workshops).<sup>29</sup>

### **2.2.2. Schilfrohr als Bau- und Dämmstoff**

Schilfrohr zeichnet sich durch mehrere positive Materialeigenschaften für den Einsatz im Bausektor aus. Traditionell werden Schilfrohre in vielen Gegenden schon lange als Material zum Dachdecken genutzt, da sie aufgrund ihres Zellaufbaus eine gute Biegefestigkeit besitzen. (Das gilt aber nur für einjähriges Jungschilf, denn schon ab dem zweiten Jahr werden die Halme brüchig und porös und sind somit für dieses Einsatzgebiet nicht mehr geeignet.<sup>30</sup>) Hervorzuheben ist für den Bereich des Dachdeckens außerdem die natürliche Wasserresistenz der Pflanze. Das Schilfrohr wird hier in Form von Bündeln am Dach angebracht.

---

<sup>28</sup> Vgl. auch Naturfreunde International 2009.

<sup>29</sup> Naturfreunde International 2009.

<sup>30</sup> Schrader 1998, S. 75f.



Abbildung 10: Gebäude mit Schilfdächern (Tihany, Ungarn)

Als Dämmmaterial für Passiv- und Niedrigenergiehäuser ist Schilf aus mehreren Gründen geeignet: Durch seine luftgefüllten Hohlräume besitzt Schilfrohr sehr gute Dämmeigenschaften und ebenso gute Schallschutzwerte, die durch die Verbindung mehrerer Schilfrohre in einer Platte noch verstärkt werden können.

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, den Rohstoff zu verarbeiten: Entweder werden die geernteten Schilfrohre direkt verwendet, oder sie werden gehäckselt (siehe Abbildung 11). Der Großteil der Fasern des gehäckselten Schilfrohrs hat folgende Abmessungen:

Länge: 3–50 mm

Breite: 1–6 mm

Dicke: 0,2–1 mm



Abbildung 11: Links: Schilfrohre gebündelt. Rechts: Schilfhäcksel.

Ein Vorteil des Häcksels liegt darin, dass auch ansonsten weniger gut geeignete Teile des Rohstoffs (z. B. krumme Rohre, kurze Rohrabschnitte) verwertet werden können. Ein Nachteil liegt darin, dass die Oberfläche der Rohre aufgebrochen wird und damit z. B. die Wasseraufnahme erhöht wird (Details zu den Materialkennwerten finden sich in Kap. 3.3).

Lose Schilfrohre werden derzeit zu Schilfrohrmatten oder Schilfrohrplatten verarbeitet, aus gehäckselt Schilf werden Schilfgranulatplatten hergestellt; diese Produkte werden im Folgenden genauer beschrieben.

### Schilfrohrmatten

Schilfrohrmatten sind sowohl im Innen- als auch im Außenbereich einsetzbar. Handelsübliche Versionen dieser Matten bestehen aus einer einlagigen Schilfrohrsicht,



welche aus ca. 70 bis 100 Schilfrohren pro Laufmeter mit einem verzinkten Draht oder mit Polyamidschnüren zusammengebunden wird. Schilfrohrmatten werden als Wind- oder Sichtschutzwände, aber auch als Bewehrung für Kalk-, Lehm- und Gipsputze genutzt, da die raue Oberfläche des Schilfs und die Zwischenräume der Halme eine gute Haftung gewährleisten (siehe Abbildung 12 rechts).



Abbildung 12: Schilfrohrmatte; rechts: im Einsatz als Putzträger

### Schilfrohrplatten

Die Herstellung von Schilfrohrplatten erfolgt derzeit mechanisch, und zwar zum Teil maschinell, zum Teil manuell (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Sie werden mit Draht, aber ohne zusätzliches Bindemittel gebunden. Die handelsüblichen Stärken dieser Platten liegen zwischen 2 und max. 5 cm. Abhängig von der Plattenstärke ist auch der Durchmesser des Drahtes, welcher zwischen 1,5 und 2 mm variieren kann.

Die Schilfrohre werden vorkomprimiert und zwischen zwei verzinkte Führungsdrähte eingebracht. Die Führungsdrähte verlaufen in der Regel im Abstand von je 20 cm, alle 5 cm erfolgt ein Verbinden des oberen und unteren Führungsdrahtes mittels der Abbindedrähte (siehe Abbildung 15).



Abbildung 13: Manuelles Einlegen der Schilfrohrhalme



Abbildung 14: Maschinelles Binden. Abklemmen und Umbiegen der Führungsdrähte erfolgt manuell



Abbildung 15: Links: Schilfrohrplatten mit Drahtbindung; rechts: Führungsdrähte und Abbindedrähte

Schilfrohrplatten können wie Schilfrohrmatten auch als Wind- oder Sichtschutz verwendet werden. Ihr Haupteinsatzgebiet liegt jedoch im Dämmbereich, denn aufgrund der in den Hohlräumen des Schilfrohres enthaltenen Luft verfügt die Schilfrohrplatte über gute Wärmedämm- und Schallschutzeigenschaften.

Nachfolgend sind die Materialkennwerte einer drahtgebundenen Schilfrohrplatte aufgelistet.<sup>31</sup>

<b>Drahtgebundene Schilfrohrplatte</b>	
Baustoffklasse	B2 nach DIN 4102 Teil 1
Raumgewicht	190 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit Rechenwert ( $\lambda_R$ )	0,056 W/mK
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$	2
Biegezugfestigkeit	7,5 N/mm <sup>2</sup>
Biegewellenlängen fg	bei 2 cm Kalkputz: 1600 Hz bei 3 cm Kalkputz: 1800 Hz
Schallschutz $R_w$ (Trittschallverbesserung)	2 cm Dicke: 14 dB 5 cm Dicke: 24 dB

Tabelle 3: Materialkennwerte einer drahtgebundenen Schilfrohrplatte<sup>32</sup>

Schilfrohrplatten werden zwar hauptsächlich als Wanddämmung im Innen- und Außenbereich verwendet, aber auch eine Nutzung als Dachdämmung ist möglich.

<sup>31</sup> Da Schilfrohrplatten nicht zertifiziert sind, können die Werte je nach Produktion abweichen.

<sup>32</sup> <http://www.schilfrohr-sterflinger.de/index.php?nav=technisch&s=t>; 15.03.2010.

Eine Imprägnierung der Platten ist wegen der wasserabweisenden Eigenschaften der Schilfrohre nicht notwendig. Auch andere zusätzlichen Stoffe wie Flammschutzmittel müssen bei der Verarbeitung nicht eingesetzt werden. Die Schilfrohre können somit unbehandelt verwendet werden. Das und die weitgehend emissionsfreie Herstellung und Nutzung zeichnen sie als ein ökologisch hochwertiges Produkt aus.

### Schilfgranulatplatten

Die Schilfgranulatplatte (siehe Abbildung 16) ist eine neuere Möglichkeit, Schilf als Dämmstoff einzusetzen. Eine solche Platte besteht hauptsächlich aus gehäckselten Schilfrohren und wird durch Zugabe eines Bindemittels in einem dreistufigen Pressverfahren, bei dem eine Form-, eine Heiz- und eine Kaltpresse zum Einsatz kommen, produziert (siehe Abbildung 17).<sup>33</sup> Als Bindemittel dient hierbei ein Holzleim auf Wasserbasis oder ein anderer ökologischer Kleber.



Abbildung 16: Links: Schilfgranulatplatte<sup>34</sup>, rechts: Schilfhäcksel im Detail

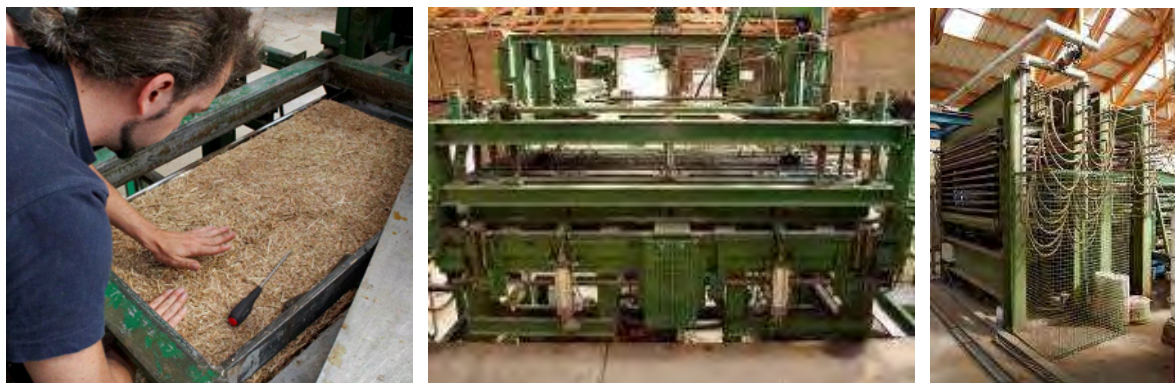


Abbildung 17: Herstellung der Schilfgranulatplatten (Mitte: Formpresse; rechts: Heiz- und Kaltpresse)

Eingesetzt werden die Schilfgranulatplatten zum einen als Putzträger und zum anderen als Dämmstoff. Denn obwohl die Schilfrohre gehäcksel sind, verfügt die Granulatplatte durch die in den Hohlräumen der Rohrwände enthaltene Luft über gute Wärmedämm- und Schallschutzeigenschaften.

Die Granulatplatte kann sowohl für die Innen- als auch für die Außendämmung eingesetzt werden. Üblicherweise werden Schilfgranulatplatten jedoch im Innenbereich verwendet, vor allem in Kombination mit einem Wandheizsystem (vgl. Kap. 4). Speziell dafür können die

<sup>33</sup> <http://www.hiss-reet.de/produkte/naturbaustoffe/granulatplatten.html>; 09.11.2008.

<sup>34</sup> Ebd.

Schilfgranulatplatten mit einem Rillensystem profiliert werden (siehe Abbildung 18), um die Installation der Wandheizrohre zu erleichtern und die benötigte Putzmenge zu reduzieren.



Abbildung 18: Schilfgranulatplatte ohne und mit Rillensystem<sup>35</sup>

Nachfolgend sind als Beispiel die Materialkennwerte einer Schilfgranulatplatte der Firma Rohrwolf aufgelistet:<sup>36</sup>

Schilfgranulatplatte	
Baustoffklasse	B2; E (EN 13501-1)
Raumgewicht	237,8 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit Rechenwert ( $\lambda_R$ )	0,0557 W/mK
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$	10,9
Biegezugfestigkeit	0,18 N/mm <sup>2</sup>
Druckspannung bei 10 % Stauchung	0,26 N/mm <sup>2</sup>

Tabelle 4: Materialkennwerte einer Schilfgranulatplatte

### Vergleich von Schilf mit anderen Dämmstoffen

Schilf wird ebenso wie andere alternative Dämmstoffe, wie z. B. Kork, Zellulose oder Schafwolle, derzeit noch sehr selten in Wärmedämm-Verbundsystemen eingesetzt. Die gebräuchlichsten Dämmstoffe sind Mineralwolldämmstoffe und Schaumstoffe mit knapp 96 % Marktanteil.<sup>37</sup>

Schilf weist durch seine Materialkennwerte und seine ökologischen Eigenschaften jedoch mehrere Vorteile gegenüber den konventionellen Dämmstoffen auf. In der folgenden Tabelle werden Dämmprodukte aus Schilf mit solchen aus Mineralwolle, EPS und Kork verglichen.<sup>38</sup>

<sup>35</sup> <http://www.rohrwolf.com>; 09.11.2008.

<sup>36</sup> Ebd.

<sup>37</sup> Gemeinschaft Dämmstoffe Industrie 2009.

<sup>38</sup> Quellen: [www.waermedaemmstoffe.com](http://www.waermedaemmstoffe.com); 4.8.2009; [http://www.eza-allgaeu.de/fileport.php?file=v51\\_de\\_file\\_d227\\_21.pdf&filename=Schilf%202000.pdf](http://www.eza-allgaeu.de/fileport.php?file=v51_de_file_d227_21.pdf&filename=Schilf%202000.pdf); 4.8.2009. Abbildungen: <http://www.knaufinsulation.de/de/products/heralan-kp-035hb>; 11.03.2010; <http://www.prosol-farben.de/vollwaermeschutz/daemmstoffe/>; 11.03.2010; <http://www.cesme-bau.org/media/kork.jpg>; 11.03.2010.


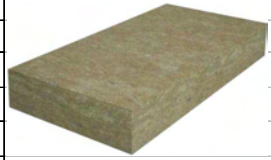


<b>Schilf</b>			
<b>Materialkennwerte</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
Wärmeleitfähigkeit $\lambda(R)$ : 0,056 W/(m·K)	gute Dämmwirkung	bisher keine Zertifizierung	
spez. Wärmespeicherkapazität c: 1.200 J/(kg·K)	gute Verfügbarkeit des Rohstoffs; geringe Transportwege	Schilfrohrplatten: Wärmebrücken und schwierigere Bearbeitung sowie Entsorgung aufgrund der Drahtbindung	
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$ : 1-2 (Schilfrohr) bzw. 10,9 (Schilfgranulat)	niedriger Primärenergieverbrauch		
Baustoffklasse: B 2 normal entflammbar	Putzträgerfunktion		
Rohdichte $\rho$ : 140-225 kg/m³ (Schilfrohr) bzw. ca. 237 kg/m³ (Schilfgranulat)	gesundheitlich unbedenklich; ohne Einsatz von Zusatzstoffen verwendbar		
Primärenergiegehalt: 30-50 kWh/m³	rezyklierbar		
<b>Mineralwolle</b>			
<b>Materialkennwerte</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
Wärmeleitfähigkeit $\lambda(R)$ : 0,035-0,045 W/(m·K)	nicht brennbar	energieintensive Herstellung	
spez. Wärmespeicherkapazität c: 840-1.000 J/(kg·K)	gute Beständigkeit	feuchtigkeitsanfällig	
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$ : 1-2	kurze energetische Amortisationszeit (ca. 4 Monate)	schlechter sommerlicher Wärmeschutz	
Baustoffklasse: A 1, A 2 nicht brennbar		Entsorgung: biologisch nicht abbaubar	
Rohdichte $\rho$ : 20-200 kg/m³		enthält Kunstharze und andere Zusatzstoffe	
Primärenergiegehalt: 150-500 kWh/m³		Freisetzung von lungengängigen Fasern und Hautreizungen	
<b>EPS</b>			
<b>Materialkennwerte</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
Wärmeleitfähigkeit $\lambda(R)$ : 0,035-0,040 W/(m·K)	günstig	geringer Schallschutz	
spez. Wärmespeicherkapazität c: 1.500 J/(kg·K)	einfach zu verarbeiten	diffusionsoffene Platten teurer	
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$ : 20-100	fäulnisresistent	Freisetzung giftiger Gase im Brandfall	
Baustoffklasse: B 1 schwer entflammbar		internationale Abhängigkeit durch Rohölbedarf	
Rohdichte $\rho$ : 10-35 kg/m³		Kombination mit Holz problematisch (Holzschutzmittel notwendig)	
Primärenergiegehalt: 200-760 kWh/m³		Platten können schrumpfen und Wärmebrücken bilden	
		negative Ökobilanz: Rohölbedarf 6-7 l je m³; Emissionen bei der Herstellung; nur bedingte Rezyklierbarkeit	
<b>Kork</b>			
<b>Materialkennwerte</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	
Wärmeleitfähigkeit $\lambda(R)$ : 0,045-0,060 W/(m·K)	stofflich wiederverwertbar	sehr lange Amortisationszeit von ca. 35 Monaten	
spez. Wärmespeicherkapazität c: 1.700-2.100 J/(kg·K)	guter Heizwert, daher energetisch verwertbar	relativ teuer	
Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu$ : 5-10	gute Beständigkeit	evtl. Entwicklung eines unangenehmen Eigengeruchs	
Baustoffklasse: B 2 normal entflammbar	nicht feuchtigkeitsanfällig	lange Transportwege des Rohstoffs	
Rohdichte $\rho$ : 100-220 kg/m³			
Primärenergiegehalt: 65-450 kWh/m³ (Backkork) bzw. 300-450 kWh/m³ (imprägnierter Kork)			

Tabelle 5: Vergleich von Schilf mit anderen Dämmstoffen

### 2.2.3. Zusammenfassung

Die Analyse des nachwachsenden Rohstoffs Schilfrohr zeigt, dass dieser bereits aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften für die Anwendung als Bau- und Dämmstoff geeignet ist (Wärmedämm- und Schallschutzwirkung durch die luftgefüllten Hohlräume, Wasserresistenz etc.). Deshalb und aufgrund seiner ökologischen Qualität wird er auch bereits seit langem im Bausektor, z. B. zum Dachdecken, eingesetzt. Auch als Putzträger findet Schilf derzeit Verwendung. Aus den losen Rohren bzw. aus gehäckseltem Schilf werden für die Anwendung im Dämmbereich Schilfrohr- bzw. Schilfgranulatplatten hergestellt.

Diese derzeit vorhandenen Produkte weisen jedoch noch einige Defizite auf, die einer weiteren Verbreitung von Schilf am Dämmstoffmarkt im Wege stehen. Die meisten Probleme ergeben sich dabei aus der Drahtbindung der Schilfrohrplatten. Diese macht eine aufwendige Herstellung notwendig, und die schwierige Bearbeitbarkeit (z. B. Zuschnitt für den Giebel- oder Fensterbereich) macht die Platten gegenüber konventionellen Dämmprodukten weniger attraktiv.

Dabei hat ein Vergleich gezeigt, dass der Rohstoff Schilf sowohl aus bauphysikalischen als auch aus ökologischen Gründen durchaus in Konkurrenz zu anderen Dämmprodukten treten kann. Vor allem auch in Hinblick auf die großen regionalen Vorkommen, z. B. am Neusiedlersee, sollten diese Potenziale daher stärker genutzt werden. Dabei würden nicht nur wirtschaftliche Vorteile für die Rohstoffregionen entstehen, sondern auch ökologische, da durch die regelmäßige Ernte die Altschilfbestände reduziert werden. Diese haben derzeit eher negative Effekte auf das ökologische Gleichgewicht dieser Naturgebiete.

Eine Nutzung des Rohstoffs Schilf wirkt sich somit ökologisch doppelt positiv aus: Einerseits kann eine Verwendung als Dämmstoff helfen, Energiebedarf und Heizkosten in Gebäuden zu senken, andererseits gewinnen auch die Rohstoffgebiete durch die verstärkte Ernte an Qualität.

Eine Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von Schilf und eine Verbesserung der Produktions- und Verarbeitungsverfahren im Dämmbereich ist daher auch Ziel dieses Projekts. Zunächst wurde daran gearbeitet, die derzeit verwendeten Dämmprodukte aus Schilf weiterzuentwickeln und Alternativen zur Drahtbindung der Schilfrohrplatten zu finden. Die Ergebnisse finden sich im folgenden Kapitel.

## 3. Dämmstoffentwicklung auf Basis von Schilf

### 3.1. Anforderungsprofil

Umfragen unter Schilfverarbeitern<sup>39</sup> zeigen, dass derzeit noch einige Probleme und Verbesserungsmöglichkeiten in Bezug auf die Verarbeitung und Anbringung der erhältlichen Schilfrohrplatten bestehen, welche die Hemmschwelle für deren Verwendung erhöhen. Die weiteren Projektentwicklungen konzentrierten sich daher darauf, diese Anforderungen aus der Praxis in die Entwicklung eines Dämmprodukts aus Schilf umzusetzen.

Die derzeit eingesetzte Methode der Drahtbindung von Schilfplatten reduziert durch die entstehenden Wärmebrücken die ansonsten sehr guten Dämmeigenschaften von Schilf und birgt für die Weiterverarbeitung der Schilfrohrplatten einige Probleme. Als Hauptproblem wurden von den verarbeitenden Betrieben die Schwierigkeiten beim Zuschnitt der Schilfrohrplatten in Längsrichtung oder diagonal (z. B. Giebelbereich, siehe Abbildung 20) auf die erforderliche Größe angesehen, da die Drahtbindung dabei geöffnet, abgeklemmt und wieder gebogen werden muss, was einerseits einen erhöhten Arbeitsaufwand darstellt und andererseits den Zusammenhalt der Platten schwächt (siehe Abbildung 19). Beim Zuschnitt für Schrägen und ähnliche schwierige Bereiche treten diese Probleme besonders zutage. Auch der vermehrte Abfall aufgrund des Zuschneidens und die Problematik der Drahtentsorgung wurden als Hemmschwelle für die Verwendung der Schilfrohrplatten genannt.



Abbildung 19: Teilen einer Schilfrohrplatte

Ausreichende Dämmstärken bei gleichzeitig nicht zu hohem Gewicht sind notwendig, um Dämmplatten aus Schilf konkurrenzfähig zu machen. Drahtgebundene Platten weisen aber nur eine maximale Dicke von 5 cm auf. Eine Erhöhung der Dämmstärke ist nur durch aufwendigen Umbau erzielbar, außerdem werden die dafür benötigten Knüpfmaschinen nicht mehr hergestellt. Es sind zwar auch Platten am Markt, die eine Stärke von 12 cm aufweisen, diese werden jedoch per Hand in der Türkei gefertigt.

Weitere Anforderungen an Schilfdämmplatten betreffen deren Abmessungen. Genau definierte, gut handhabbare Maße und gleichmäßige Längskanten müssen gewährleistet

<sup>39</sup> Pexa 2007.

sein. Aufgrund der hohen Dichte von Schilfrohr darf eine einzelne Platte nicht so groß sein, dass sie beim Transport und Einbau nicht mehr von einer oder zwei Personen gehandhabt werden kann. Mit den derzeitigen Maßen von 200 x 100 cm sind die Schilfrohrplatten hier noch zu groß dimensioniert. Eine Anforderung der schilfverarbeitenden Betriebe ist daher die Anpassung der Plattenmaße an die gängigen Maße von Dämmplatten (60 x 100 cm) bzw. an die üblichen Ständerweiten bei Holzständerbauten (62,5 cm). Zu berücksichtigen sind andererseits auch Probleme, die sich bei zu kleinen Platten aufgrund der vermehrten Plattenstöße ergeben (siehe Abbildung 20). Diese erhöhen das Risiko von Ungenauigkeiten im Einbau und können Wärmebrücken bilden (eine einfache Lösung dieses Problems wird in Kapitel 4.2) dargestellt. Auch das Befestigungssystem (Anzahl der Dübel, Abmessungen des Stegsystems etc.) muss für die Anpassung der Abmessungen mit berücksichtigt werden.



Abbildung 20: Links: Plattenstoß; rechts: improvisierte Lösung im Giebelbereich

Zusammenfassend können folgende derzeitige Probleme und Lösungsansätze für die Optimierung festgemacht werden:

<b>Dämmstoffe aus Schilf</b>		
	<b>Bewertung des Ist-Stands</b>	<b>Lösungsansätze für Optimierung</b>
<b>Wärmebrücken</b>	Erhöhte Anzahl durch Drahtbindung und Plattenstöße	Alternativen zur Drahtbindung; Verbesserung der Abmessungen und Kantengenauigkeit
<b>Bearbeitbarkeit</b>	Zuschnitt schwierig durch Drahtbindung; Maßhaltigkeit nicht gegeben; zu große Abmessungen	Alternativen zur Drahtbindung; Verbesserung der Abmessungen und Kantengenauigkeit
<b>Dämmwirkung</b>	Maximale Dämmstärke 5 cm	Erhöhung der Dämmstärke
<b>Ökologische Eigenschaften</b>	Problematische Entsorgung der Drahtbindung	Alternativen zur Drahtbindung
<b>Herstellungsaufwand</b>	Hoch	Verbesserung des Herstellungsverfahrens

Tabelle 6: Anforderungsprofil für Dämmstoffe aus Schilf



Aufgrund dieses Anforderungsprofils wurde im weiteren Projektverlauf ein Schwerpunkt auf die Entwicklung von Plattenprototypen ohne Drahtbindung und mit höheren Dämmstärken sowie mit verbesserten Abmessungen und gleichmäßigen Kanten gelegt (siehe Kap. 3.2). Mit denjenigen Plattenprototypen, die sich bei einer ersten Bewertung als gut erwiesen, wurden mehrere Testreihen zur Ermittlung von bauphysikalischen Eigenschaften und Kennwerten durchgeführt (Kap. 3.3).

Als Variante neben Dämmplatten kommt auch die Dämmung mit losem Schilf (Schilfhäcksel oder lose Rohre) in Frage (ähnlich wie z. B. die Dämmung mit Zelluloseflocken), welche die genannten Probleme bei der Verarbeitung (Plattenstöße, Ungenauigkeiten, Zuschnitt) zum Teil gar nicht erst auftreten lässt. Daher wurde auch diese Variante genauer untersucht (Kap. 3.3).<sup>40</sup> Die Ergebnisse der Untersuchungen führten schließlich zu einer Auswahl der besten Schilf-Dämmstoffvarianten (Kap. 3.3.4).

### 3.2. Herstellung von Schilfrohrplatten mit Bindemitteln

Als Alternative zur Drahtbindung von Schilfrohrplatten sollten Platten mit Bindemitteln hergestellt werden. Die Bindemittel (sowie ggf. ein Füllstoff) wurden mit Wasser in unterschiedlichen Verhältnissen angemischt. Diese Masse wurde entweder in eine Plattenform gefüllt, die mit Schilfrohren oder -granulat ausgelegt war (siehe Abbildung 21, links und Mitte), oder die Schilfrohre wurden schichtweise mit der Bindemittellösung bestrichen und anschließend verpresst. Im Laufe der Versuche ergab sich als weitere (und effizientere) Variante das Auftragen des Bindemittels in einzelnen Bahnen (siehe Abbildung 21, rechts).



Abbildung 21: Links: Probekörperform; Mitte: Verfüllung einer Kasein-Schilfhäcksel-Masse; rechts: Bahnen von geschäumtem Heißkleber auf Schilfrohren

<sup>40</sup> Als zusätzliche Möglichkeit, die Drahtbindung zu vermeiden, sollte die Herstellung von Platten durch Vernadeln getestet werden, allerdings ergab sich bereits aus Recherchen bei verarbeitenden Unternehmen, dass das Vernadeln von Schilf nicht möglich ist. Daher wurden keine praktischen Versuche mit dieser Methode durchgeführt.

### 3.2.1. Bindemittel

Es gibt eine große Anzahl an möglichen Bindemitteln zur Herstellung von Schilfplatten. Neben mineralischen Bindemitteln (z. B. Kalkputz) wurden verschiedene Klebstoffe getestet. Diese können nach mehreren Prinzipien unterschieden werden:

Eine Möglichkeit ist die Einteilung der Klebstoffe nach der Aushärtungsart<sup>41</sup>. Dabei wird zwischen chemisch reagierenden und physikalisch abbindenden Klebstoffen unterschieden (siehe Abbildung 22).

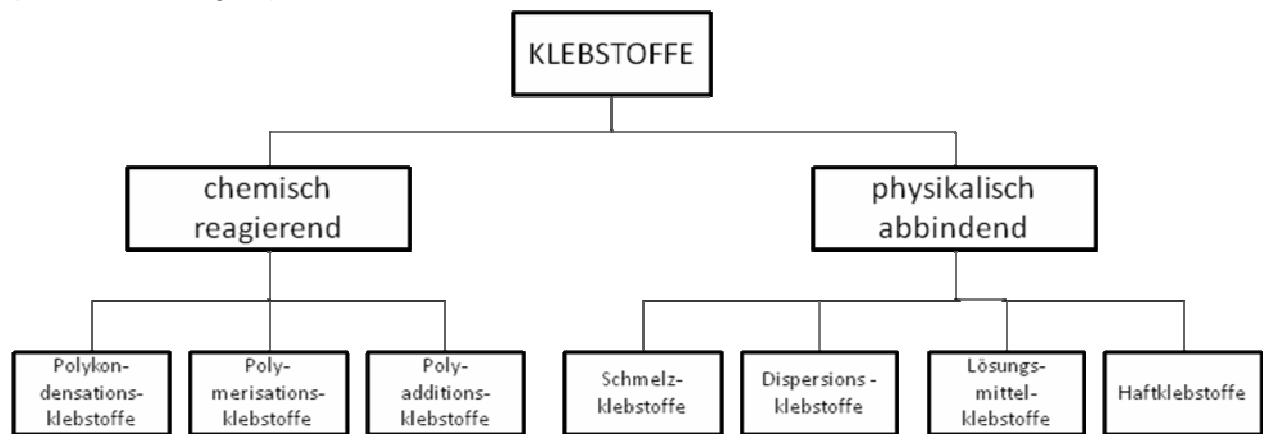


Abbildung 22: Einteilung von Klebstoffen nach ihrer Aushärtungsart

#### *Chemisch reagierende Klebstoffe*

Bei den chemisch reagierenden Systemen liegen die Klebstoffe als reaktionsbereite Monomere bzw. Prepolymere vor, aus denen sich nach dem Auftragen und dem Zusammenführen der Füge­teile eine Klebschicht bildet. Dieser Vorgang wird als „Härten“ oder „Aushärten“ bezeichnet und ist zeitabhängig.

Innerhalb dieser Einteilung wird zwischen Polykondensations-, Polymerisations- und Polyadditionsklebstoffen unterschieden.

#### *Physikalisch abbindende Klebstoffe*

Die physikalisch abbindenden Klebstoffe hingegen liegen bereits als fertige Polymerverbindungen mit langen und stark verzweigten Ketten vor. Im Vergleich zu den chemisch reagierenden Klebstoffen haften sie entweder durch Anpressdruck oder müssen vor der Verarbeitung in einen flüssigen Zustand überführt werden.

Die physikalisch abbindenden Klebstoffe können wiederum in folgende vier Kategorien unterteilt werden: Schmelzklebstoffe, Dispersionsklebstoffe, Lösungsmittelklebstoffe und Haftklebstoffe.

Eine andere Möglichkeit der Einteilung von Klebstoffen ist die Unterscheidung nach der chemischen Basis<sup>42</sup> – je nachdem, ob es sich um organische Verbindungen aus Naturprodukten oder um künstlich hergestellte Klebstoffe handelt (siehe Abbildung 23). Die Gruppe der anorganischen Bindemittel hingegen wird gesondert betrachtet.

<sup>41</sup> Habenicht 1997, S. 6 ff

<sup>42</sup> Habenicht 2001, S. 11

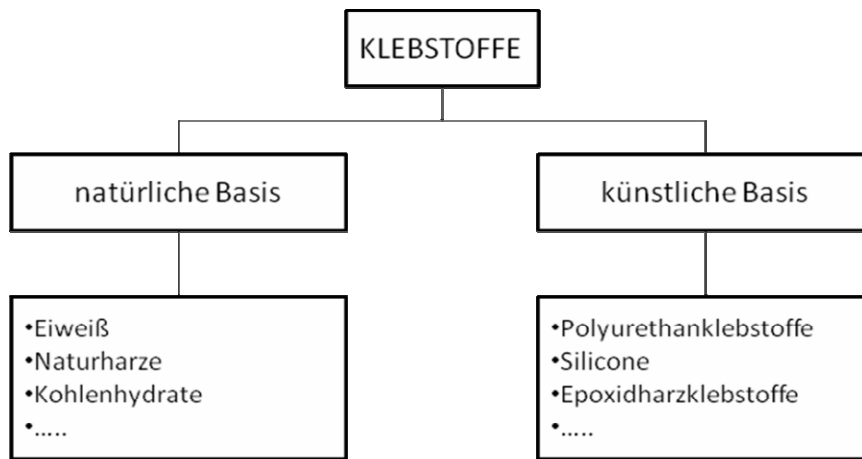


Abbildung 23: Einteilung von Klebstoffen nach ihrer chemischen Basis

### *Klebstoffe auf natürlicher Basis*

Die Einteilung der natürlichen Klebstoffe erfolgt nach ihrer Herkunft und der damit zusammenhängenden Grundsubstanz. Tierische Klebstoffe bestehen hauptsächlich aus Eiweißverbindungen, pflanzliche größtenteils aus natürlichem Kautschuk oder Kohlenhydraten. Diese Klebstoffe, oft auch als Leime oder Kleister bezeichnet, besitzen eine relativ hohe Viskosität und benötigen in der Regel ein Lösungs- oder Quellmittel.

### *Klebstoffe auf künstlicher Basis*

Künstliche Klebstoffe bestehen aus Grundstoffen, die keines natürlichen Ursprungs sind, sondern durch gezielte chemische Reaktionen hergestellt werden.

### *Anorganische Bindemittel*

Die anorganischen Bindemittel gehören nicht zur Kategorie der Klebstoffe. Zu dieser Gruppe zählen z. B. mineralische Bindemittel wie Gips, Kalk oder Zement, die mit Wasser angemacht erhärten.

## **3.2.2. Prototypenentwicklung**

Die hier getesteten Bindemittel basieren größtenteils auf natürlichen Grundstoffen oder gehören zu den anorganischen Bindemitteln:

- |                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| P1. Gummi Arabicum                | P8. Roggenleim                  |
| P2. Fliesen- und Plattenkleber    | P9. Tannin                      |
| P3. NHL-Kalkputz                  | P10. PLA                        |
| P4. Wärmedämmender Leichtputz NHL | P11. Holzleim                   |
| P5. Kasein                        | P12. Heißkleber                 |
| P6. Stärke                        | P13. PU-Schaum                  |
| P7. Stabilizer®                   | P14. Aufgeschäumter Thermoplast |

Zusätzlich wurden teilweise Füllstoffe verwendet. Diese bewirken einen stärkeren Verbund der Platten bei gleichzeitiger Reduktion des benötigten Bindemittels. Die Rohrzwischenräume werden ausgefüllt, dadurch entsteht eine homogene und luftdichte Platte. Als Füllstoffe kamen Schilfhäcksel (grob bzw. fein geschrotet) und/oder Zellulose zum Einsatz. Zellulose zeichnet sich vor allem durch die niedrige Dichte und die gute

Homogenisierung aus. Ein weiterer Zusatz ist Porenbildner, der z. B. Kalkputz elastischer und leichter macht.

Je nach Bindemittel und Füllstoff, Mischverhältnis und Herstellungsart entstanden unterschiedlich feste Prototypen. Nicht alle wiesen ausreichend Verbundwirkung auf, um überhaupt weitere Versuche durchführen zu können. Für die weitere Entwicklung wurde daher bei jedem Bindemittel nur der jeweils beste Prototyp herangezogen, also jener, der bei den untersuchten Eigenschaften wie Festigkeit und Klebekraft am besten abschnitt.

Auf den folgenden Seiten werden diese ausgewählten Prototypen detailliert mit jeweils einem Datenblatt dargestellt. Darin finden sich neben Angaben zum Herstellungsprozess folgende Eigenschaften:

- Abmessungen
- Gewicht
- Dichte
- Gewichtsanteile Schilf, Bindemittel, ggf. Füllstoff

Zusätzlich wurden die Prototypen qualitativ auf einer fünfteiligen Skala von - (schlecht) bis + (gut) bewertet, und zwar nach folgenden Kriterien:

- Festigkeit
- Bearbeitbarkeit
- Elastizität
- Energieaufwand
- Herstellungsaufwand

## **P.1 Gummi Arabicum**

Gummi Arabicum ist ein natürliches Polysaccharid. Es besitzt eine stark verzweigte Struktur mit einer Hauptkette und wird schon seit langem als Klebe- und Bindemittel sowie als Stabilisator und Verdickungsmittel in der Lebensmittelindustrie eingesetzt.

Gewonnen wird Gummi Arabicum aus dem Pflanzensaft von bestimmten Akazien vor allen im Sudan und im Senegal. Durch ein Einritzen der Baumrinde in einem nach unten gerichteten Winkel kommt es zu einem Austritt von Milchsafttropfen mit einem Durchmesser von 2 bis 7 cm. Dieser Saft wird aufgefangen und getrocknet. Innerhalb von wenigen Wochen härten die Tropfen zu glasartigen Knollen oder Schuppen aus, welche im Anschluss zu einem farblosen bis bräunlichen Pulver vermahlen werden können.

Gummi Arabicum ist in Alkohol unlöslich. Das Pulver kann aber in Wasser zu einer zähen klebrigen Flüssigkeit aufgelöst und als Bindemittel verwendet werden.

Eine mit Schilfrohren befüllte Probekörperform wurde mit dem in Wasser gelösten Gummi Arabicum zu einer Platte ausgegossen. Durch den zu hohen Kleberanteil konnte dieser jedoch nicht ausreichend austrocknen. Als Alternative wurden Schilfrohre mit einer dünnen Schicht Gummi Arabicum bestrichen und anschließend verpresst, diese Methode brachte aber keine ausreichende Festigkeit. Die Verwendung eines zusätzlichen Füllstoffs (Schilfhäcksel) in Verbindung mit einem Trockenschrank führte schließlich zu folgendem Prototyp:



eine weitere Reduzierung des Bindemittelanteils möglich, allerdings ist dieser für die Anwendung in einem Schilf-WDVS noch immer zu hoch.


Prototyp-Nummer: P.2 Kurzbezeichnung: HAGA/feine Schilfhäcksel Herstellungsmethode: Nass; Raumtrocknung																																					
Abmessungen: 0,305x0,210x0,045 m Gewicht: 1,468 kg Dichte: 509,3 kg/m <sup>3</sup> Gewichtsanteil Schilfrohr: 18,49 % Gewichtsanteil Bindemittel: 68,49 % Gewichtsanteil Füllstoff: 13,02 %																																					
Bindemittel: HAGA Fliesen- und Plattenkleber Hersteller: HAGA AG Naturbaustoffe Füllstoff: Schilfhäcksel Aushärtungsdauer: 14 d Hilfsmittel: -																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			-				+	Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	-				+																																
Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																

Abbildung 25: Prototyp 2 – HAGA Fliesen- und Plattenkleber

**Bewertung:** Der Prototyp weist eine hohe Festigkeit und Stabilität auf. Die Schilfrohre sind komplett von der Füllmasse umschlossen; trotz des hohen Anteils an Bindemittel lässt sich der Prototyp unproblematisch mit einer Kreissäge bearbeiten. Eine Erhöhung des Schilfhäckselanteils und damit auch eine gleichzeitige Reduzierung des Bindemittelanteils ist vorstellbar. Die Aushärtung der Probe kann bei Raumtemperatur ohne zusätzlichen Energieaufwand erfolgen. Allerdings war die Aushärtungsdauer mit 14 Tagen sehr lang. Für eine Verwendung in einem WDVS ist dieser Prototyp ungeeignet, da er aufgrund des hohen Gewichts schwer handhabbar ist.

### P.3 NHL-Kalkputz

Das verwendete Bindemittel ist der naturhydraulische Kalk NHL 5 der Bau Innovation Alternativ. Dieser Kalk eignet sich besonders für die Herstellung von Putzen und Mörtel im Bereich der Denkmalpflege und Altbausanierung und zeichnet sich durch seine hohe Druckfestigkeit aus.

Hergestellt wird naturhydraulischer Kalk aus Sedimentgesteinen wie Kalkstein oder Kalksteinmergel, die überwiegend aus Ablagerungen von Organismen wie z. B. Korallen entstanden sind. Der im Tagebau gewonnene Rohstoff muss dafür zunächst zerkleinert und gemahlen werden. Beim anschließenden „Kalkbrennen“ bei einer Temperatur von bis zu 1.100 °C wird das CO<sub>2</sub> ausgetrieben, es entsteht Branntkalk. Durch die Zugabe von Wasser kommt es dann zum „Löschen“. Bei diesem Vorgang zerfällt der Branntkalk in mikrokristalline Kalkhydrat-Teilchen. Dem Branntkalk wird dabei so viel Wasser hinzugegeben, wie beim Brennvorgang verloren gegangen ist. Es gibt auch noch die Möglichkeit des Nasslöschens. Hierbei wird dem Kalk mehr Wasser hinzugegeben, als er beim Brennen verloren hat. Durch

diesen Wasserüberschuss entsteht eine Art Kalkbrei, der auch Sumpfkalk genannt wird. Beim Trocknen entweicht dieses Wasser in die Luft. Die Abbindung erfolgt also nicht durch die Reaktion mit Wasser, sondern mit dem in der Luft enthaltenen CO<sub>2</sub>. Hydraulische Kalke dürfen jedoch nur trocken gelöscht werden, da sie auch unter Wasser teilweise erhärten.<sup>43</sup> Die Lieferform des Kalks erfolgt in Säcken zu je 25 kg, die bis zu sechs Monate lagerfähig sind. Der Kalk wird zusammen mit Sand und Wasser zu einer sämigen homogenen Putzmasse vermischt. Die Verarbeitung sollte nicht bei Temperaturen unter 5 °C erfolgen. Die Verfüllung der Probekörperform mit Schilfrohren und NHL-Kalkputz ergab eine sehr schwere Platte, deren Gewicht in Folge durch die Beimischung von Zellulose und dem Porenbildner „DiePore“ von BIA als Füllstoff reduziert werden konnte.


<table> <tr> <td>Prototyp-Nummer:</td> <td>P.3</td> </tr> <tr> <td>Kurzbezeichnung:</td> <td>NHL-Kalkputz/DiePore</td> </tr> <tr> <td>Herstellungsmethode:</td> <td>Nass; Raumtrocknung</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.3	Kurzbezeichnung:	NHL-Kalkputz/DiePore	Herstellungsmethode:	Nass; Raumtrocknung																																															
Prototyp-Nummer:	P.3																																																				
Kurzbezeichnung:	NHL-Kalkputz/DiePore																																																				
Herstellungsmethode:	Nass; Raumtrocknung																																																				
<table> <tr> <td>Abmessungen:</td> <td>0,310x0,210x0,040 m</td> </tr> <tr> <td>Gewicht:</td> <td>1,044 kg</td> </tr> <tr> <td>Dichte:</td> <td>400,1 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Schilfrohr:</td> <td>27,29 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td>72,40 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Füllstoff:</td> <td>0,31 %</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,310x0,210x0,040 m	Gewicht:	1,044 kg	Dichte:	400,1 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfrohr:	27,29 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	72,40 %	Gewichtsanteil Füllstoff:	0,31 %																																									
Abmessungen:	0,310x0,210x0,040 m																																																				
Gewicht:	1,044 kg																																																				
Dichte:	400,1 kg/m <sup>3</sup>																																																				
Gewichtsanteil Schilfrohr:	27,29 %																																																				
Gewichtsanteil Bindemittel:	72,40 %																																																				
Gewichtsanteil Füllstoff:	0,31 %																																																				
<table> <tr> <td>Bindemittel:</td> <td>Calix NHL Kalkputz 3,5</td> </tr> <tr> <td>Füllstoff:</td> <td>DiePore</td> </tr> <tr> <td>Hersteller:</td> <td>Bau Innovation Alternativ</td> </tr> <tr> <td>Aushärtungsdauer:</td> <td>14 d</td> </tr> <tr> <td>Hilfsmittel:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Bindemittel:	Calix NHL Kalkputz 3,5	Füllstoff:	DiePore	Hersteller:	Bau Innovation Alternativ	Aushärtungsdauer:	14 d	Hilfsmittel:	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		-					+	Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Bindemittel:	Calix NHL Kalkputz 3,5																																																				
Füllstoff:	DiePore																																																				
Hersteller:	Bau Innovation Alternativ																																																				
Aushärtungsdauer:	14 d																																																				
Hilfsmittel:	-																																																				
	-					+																																															
Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																

Abbildung 26: Prototyp 3 – NHL-Kalkputz

**Bewertung:** Durch die Beimischung von Porenbildner konnte mit 400 kg/m<sup>3</sup> eine Dichte erreicht werden, die für einen Prototypen mit Putz als Bindemittel relativ gering ist. Auch die Aushärtung ohne Hilfsmittel ist vorteilhaft. Im Vergleich zu anderen Prototypen mit Putz weist dieser jedoch nicht dieselbe Festigkeit auf, bei der Bearbeitung mit der Kreissäge kam es durch die Beanspruchung stellenweise auch zu einem Abbrechen des Bindemittels an den Kanten und zu einem Herauslösen der Schilfrohre aus dem Putzverbund.

Für eine Verwendung als Dämmstoff ist der Prototyp aufgrund der ungenügenden Festigkeit und des zu hohen Gewichts nicht geeignet.

#### P.4 Wärmedämmender Leichtputz NHL

Das Produkt „Wärmedämmender Leichtputz“ von BIA ist ein faserarmerter, mineralischer sowie wasserabweisender Systemleichtputz, der Anwendung im Innen- und Außenbereich findet. Hergestellt wird dieser Putz auf der Basis von natürlichem hydraulischem Kalk (NHL) mit fraktionierten Sanden und einem mineralischen Leichtzuschlag. Eine Beimischung von

<sup>43</sup> Vgl. <http://www.chemie-schule.de/chemieWiki/images/f/fd/Kalkkreislauf.png>; 20.01.2010.

einigen speziellen Fasern und Zusätzen trägt außerdem zu einer besseren Verarbeitbarkeit bei. Durch seine gute wärmedämmende Eigenschaft zeichnet sich dieser spannungsarme Unterputz besonders für moderne, höchstwärmedämmende Mauerwerke sowohl im Innen- als auch im Außenbereich aus. Erhältlich ist dieses Produkt in 20-kg-Säcken, in denen es bei trockenen Bedingungen bis zu neun Monate lagerfähig ist. Die Verarbeitung sollte bei Temperaturen zwischen 5 und 30 °C erfolgen, wobei die Auftragsstärke einlagig nicht mehr als 30 mm betragen darf. Bei höheren Putzstärken ist eine mehrlagige Verarbeitung notwendig. Ein zusätzlicher mineralischer Oberschutz kann nach einer Standzeit von mindestens einem Tag mit je 1 mm Putzdicke aufgetragen werden. Die Trocknungszeiten der Prototypen waren bei der Herstellung dementsprechend lang.

Bei dem Versuch, ganze Schilfrohre mit dem wärmedämmenden Leichtputz zu einer Dämmplatte zu verbinden, zerbrach der Probekörper bereits bei geringer Belastung (siehe Abbildung 27).



Abbildung 27: Zerbrochener Leichtputz-Prototyp

Eine Alternative ergab sich durch die Verwendung von Schilfhäcksel anstatt ganzer Schilfrohre:

<table border="1"> <tr> <td>Prototyp-Nummer:</td> <td>P.4</td> </tr> <tr> <td>Kurzbezeichnung:</td> <td>Leichtputz/Schilfhäcksel</td> </tr> <tr> <td>Herstellungsmethode:</td> <td>Nass; Raumtrocknung</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.4	Kurzbezeichnung:	Leichtputz/Schilfhäcksel	Herstellungsmethode:	Nass; Raumtrocknung																																															
Prototyp-Nummer:	P.4																																																				
Kurzbezeichnung:	Leichtputz/Schilfhäcksel																																																				
Herstellungsmethode:	Nass; Raumtrocknung																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Abmessungen:</td> <td>0,300x0,300x0,055 m</td> </tr> <tr> <td>Gewicht:</td> <td>2,935 kg</td> </tr> <tr> <td>Dichte:</td> <td>593,1 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Schilfhäcksel:</td> <td>5,52 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td>84,48 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,300x0,300x0,055 m	Gewicht:	2,935 kg	Dichte:	593,1 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfhäcksel:	5,52 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	84,48 %	Gewichtsanteil Füllstoff:	-																																									
Abmessungen:	0,300x0,300x0,055 m																																																				
Gewicht:	2,935 kg																																																				
Dichte:	593,1 kg/m <sup>3</sup>																																																				
Gewichtsanteil Schilfhäcksel:	5,52 %																																																				
Gewichtsanteil Bindemittel:	84,48 %																																																				
Gewichtsanteil Füllstoff:	-																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Bindemittel:</td> <td>Wärmedämmender Leichtputz NHL</td> </tr> <tr> <td>Hersteller:</td> <td>Bau Innovation Alternativ</td> </tr> <tr> <td>Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Aushärtungsdauer:</td> <td>55 d</td> </tr> <tr> <td>Hilfsmittel:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Bindemittel:	Wärmedämmender Leichtputz NHL	Hersteller:	Bau Innovation Alternativ	Füllstoff:	-	Aushärtungsdauer:	55 d	Hilfsmittel:	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		-					+	Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bindemittel:	Wärmedämmender Leichtputz NHL																																																				
Hersteller:	Bau Innovation Alternativ																																																				
Füllstoff:	-																																																				
Aushärtungsdauer:	55 d																																																				
Hilfsmittel:	-																																																				
	-					+																																															
Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																															
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																															
Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																															
Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																															
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																															

Abbildung 28: Prototyp 4 – Wärmedämmender Leichtputz NHL



*Bewertung:* Es wurden mehrere Prototypen mit unterschiedlichen Gewichtsanteilen an Schilfhäcksel hergestellt, wobei das beste Ergebnis mit einem Anteil von 15,52 % erzielt wurde.

Durch die Verwendung von Putz als Bindemittel besitzt die Probe keine Elastizität. Die Festigkeit des Putzes ist ebenfalls sehr niedrig, und auch beim Zuschneiden des Musters kam es immer wieder zu einem Abplatzen des Putzes. Das Herstellungsverfahren ist wegen der langen Trocknungszeit sehr zeitaufwendig, benötigt jedoch wenig Energie.

Aufgrund mangelnder Festigkeit und wegen des hohen Gewichts ist dieser Prototyp nicht für eine Verwendung in einem Außen-WDVS geeignet.

## **P.5 Kasein**

Kasein ist ein Eiweißbestandteil der Milch, der für das Gerinnen und damit auch z. B. für die Käseherstellung notwendig ist. Er wird aber nicht nur für Lebensmittel, sondern auch als Bindemittel z. B. in Farben und Leimen verwendet.

Gewonnen wird Kasein über eine Säurefällung mit anschließender Waschung und Trocknung aus der Milch.

Kasein an sich ist in kaltem Wasser unlöslich. Um es als Bindemittel nutzen zu können, wird mithilfe eines alkalischen Mediums (z. B. Natronlauge) Kasein-Kaltleim hergestellt. Das von uns verwendete Produkt ist der Kasein-Kaltleim 789 der Firma AURO. Dieses Bindemittel besteht aus Milchcasein mit Anteilen von Weißkalkhydrat, Kalkspat, Kreide, Borax, Soda und Zeolith. Es ist in Pulverform erhältlich und wird durch Zugabe von Wasser zu einem Leim angerührt. In verbrauchsfertigem Zustand wird dieser üblicherweise für Holzverleimungen im Innenbereich verwendet.

Eine mit Schilfrohren befüllte Probekörperform wurde mit der Kasein-Kaltleim-Lösung zu einer Platte ausgegossen. Eine Aushärtung bei Raumtemperatur war jedoch nicht möglich und führte zu Schimmelbildung.

Das Bestreichen der Schilfrohre mit einer dünnen Schicht des Bindemittels und anschließendes Verpressen der Rohre ergab wegen des zu geringen Bindemittelanteils keine Festigkeit des Probekörpers. Daraufhin wurden Füllstoffe mit unterschiedlichen Gewichtsanteilen beigefügt. Zur Aushärtung der Probekörper wurde ein Trockenschrank eingesetzt, um den Prozess zu beschleunigen und Schimmelbildung zu vermeiden.


<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Prototyp-Nummer:</td> <td style="padding: 2px;">P.5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Kurzbezeichnung:</td> <td style="padding: 2px;">Kasein/Häcksel/Zellulose</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Herstellungsmethode:</td> <td style="padding: 2px;">Nass; Trockenschrank</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.5	Kurzbezeichnung:	Kasein/Häcksel/Zellulose	Herstellungsmethode:	Nass; Trockenschrank																											
Prototyp-Nummer:	P.5																																
Kurzbezeichnung:	Kasein/Häcksel/Zellulose																																
Herstellungsmethode:	Nass; Trockenschrank																																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Abmessungen:</td> <td style="padding: 2px;">0,300x0,300x0,050 m</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewicht:</td> <td style="padding: 2px;">1,499 kg</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Dichte:</td> <td style="padding: 2px;">333,1 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewichtsanteil Schilfrohr:</td> <td style="padding: 2px;">40,91 %</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td style="padding: 2px;">36,60 %</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewichtsanteil Füllstoff 1:</td> <td style="padding: 2px;">15,67 %</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gewichtsanteil Füllstoff 2:</td> <td style="padding: 2px;">6,82 %</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,300x0,300x0,050 m	Gewicht:	1,499 kg	Dichte:	333,1 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfrohr:	40,91 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	36,60 %	Gewichtsanteil Füllstoff 1:	15,67 %	Gewichtsanteil Füllstoff 2:	6,82 %	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Qualitative Bewertung</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">-</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Festigkeit</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">□ □ □ □ ■</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">■</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Bearbeitbarkeit</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">□ □ □ □ □</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">■</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Elastizität</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">■ □ □ □ □</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">□</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Energieaufwand</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">■ □ □ □ □</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">□</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Herstellungsaufwand</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">□ ■ □ □ □</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">□</td> </tr> </tbody> </table>	Qualitative Bewertung	-	+	Festigkeit	□ □ □ □ ■	■	Bearbeitbarkeit	□ □ □ □ □	■	Elastizität	■ □ □ □ □	□	Energieaufwand	■ □ □ □ □	□	Herstellungsaufwand	□ ■ □ □ □	□
Abmessungen:	0,300x0,300x0,050 m																																
Gewicht:	1,499 kg																																
Dichte:	333,1 kg/m <sup>3</sup>																																
Gewichtsanteil Schilfrohr:	40,91 %																																
Gewichtsanteil Bindemittel:	36,60 %																																
Gewichtsanteil Füllstoff 1:	15,67 %																																
Gewichtsanteil Füllstoff 2:	6,82 %																																
Qualitative Bewertung	-	+																															
Festigkeit	□ □ □ □ ■	■																															
Bearbeitbarkeit	□ □ □ □ □	■																															
Elastizität	■ □ □ □ □	□																															
Energieaufwand	■ □ □ □ □	□																															
Herstellungsaufwand	□ ■ □ □ □	□																															
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Bindemittel:</td> <td style="padding: 2px;">Kasein-Kaltleim</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Hersteller:</td> <td style="padding: 2px;">AURO</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Füllstoff 1:</td> <td style="padding: 2px;">Schilfhäcksel</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Füllstoff 2:</td> <td style="padding: 2px;">Zellulose</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Aushärtungsdauer:</td> <td style="padding: 2px;">14 h</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Hilfsmittel:</td> <td style="padding: 2px;">Trockenschrank 105 °C</td> </tr> </table>	Bindemittel:	Kasein-Kaltleim	Hersteller:	AURO	Füllstoff 1:	Schilfhäcksel	Füllstoff 2:	Zellulose	Aushärtungsdauer:	14 h	Hilfsmittel:	Trockenschrank 105 °C																					
Bindemittel:	Kasein-Kaltleim																																
Hersteller:	AURO																																
Füllstoff 1:	Schilfhäcksel																																
Füllstoff 2:	Zellulose																																
Aushärtungsdauer:	14 h																																
Hilfsmittel:	Trockenschrank 105 °C																																

Abbildung 29: Prototyp 5 - Kasein

Bewertung: Die hergestellte Probe aus Schilfrohren, Schilfhäcksel, Zellulose und Kasein-Kaltleim weist eine sehr gute Festigkeit auf und lässt sich auch sehr gut bearbeiten. Im Vergleich zu den Prototypen mit dem Fliesen- und Plattenkleber (P.2) und dem NHL Kalkputz (P.3) konnte die Dichte mit 333 kg/m<sup>3</sup> deutlich reduziert werden. Und auch die Aushärtungszeit der Probe konnte mit 14 Stunden durch die Verwendung eines Trockenschanks deutlich reduziert werden. Dieses hat jedoch auch zur Folge, dass der Energieverbrauch bei der Herstellung enorm angestiegen ist. Ein weiterer Nachteil ist der hohe Gewichtsanteil des Bindemittels, der notwendig ist, um eine ausreichende Festigkeit des Prototyps zu erreichen. Daher wurde auch dieser Prototyp nicht weiter untersucht.

## P.6 Stärke

Stärke ist ein in Pflanzen gebildetes Polymer, das zur Herstellung von Kleister, in der Lebensmittelindustrie und in der chemisch-technischen Industrie eingesetzt wird.

Einige der wichtigsten Pflanzen für die industrielle Gewinnung von Stärke sind z. B. Mais, Weizen oder Kartoffeln. Zur Gewinnung der nativen Stärke werden zunächst die in Frage kommenden Teile der Pflanze bis zur Zerstörung der Zellen zerkleinert. Die Stärke kann dann aus diesen Zellen ausgewaschen und durch Filtrieren und Zentrifugieren mit anschließender Trocknung in Form eines Pulvers gewonnen werden.

Die native Stärke ist jedoch in kaltem Wasser nicht löslich, sondern muss bei einer Verkleisterungstemperatur von ca. 65 °C in den flüssigen Zustand überführt werden. Bei diesem Vorgang bindet die Stärke ein Vielfaches ihres Eigengewichts an Wasser, quillt auf und verkleistert.

Die verwendeten Stärkekleister wurden in Pulverform von der Zuckerforschung Tulln bezogen. Das beste Resultat wurde mit extrudierter Maisstärke erzielt, welche bereits Anwendung in der Bauchemie und bei Öl-Bohrungen findet.

Die Schilfrohrplatte mit Stärkelösung in der Probekörperform konnte bei Raumtemperatur nicht aushärten, Schimmelbildung war die Folge. Das Bestreichen der Schilfrohre mit einer dünnen Schicht des Bindemittels führte wiederum nicht zu ausreichender Festigkeit. Versuche mit verschiedenen Füllstoffen und einer Trockenkammer führten zu einem Prototyp mit Zellulose als Füllstoff:


Prototyp-Nummer: P.6 Kurzbezeichnung: ZFT 868/Zellulose 6 Herstellungsmethode: Nass; Trockenkammer																																					
Abmessungen: 0,200x0,200x0,053 m Gewicht: 0,427 kg Dichte: 201,7 kg/m <sup>3</sup> Gewichtsanteil Schilfrohr: 43,33 % Gewichtsanteil Bindemittel: 8,29 % Gewichtsanteil Füllstoff: 48,38 %																																					
Bindemittel: chem. mod. Stärke ZFT 868 Hersteller: Zuckersforschung Tulln Füllstoff: Zellulose Aushärtungsdauer: 80 h Hilfsmittel: Trockenschrank 105 °C																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			-				+	Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Elastizität	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Energieaufwand	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Herstellungsaufwand	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	-				+																																
Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																
Elastizität	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Energieaufwand	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Herstellungsaufwand	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																

Abbildung 30: Prototyp 6 - Stärke

*Bewertung:* Mit einem Gewichtsanteil des Bindemittels von weniger als 10 % konnte in Kombination mit Zellulose eine ausreichende Festigkeit erreicht werden. Das Muster lässt sich außerdem sehr gut bearbeiten und weist eine geringe Elastizität auf. Der Herstellungs- und Energieaufwand ist jedoch durch das Auflösen der Stärke, die vollständige Ummantelung des Schilfs mit der Stärke-Zellulose-Mischung beim Einbringen der Rohre und durch den langen Aushärtungszeitraum im Trockenschrank sehr hoch.

Für einen Einsatz im Außendämmbereich kommt dieser Prototyp wegen der geringen Wasserbeständigkeit eher nicht in Frage, eine Verwendung im Bereich der Innendämmung wäre jedoch denkbar.

## P.7 Stabilizer®

Stabilizer ist der Handelsname für ein Produkt, das aus einem feinen Mehl der Pflanze Psyllium besteht.<sup>44</sup> Das gänzlich natürliche Hilfsmittel dient beispielsweise der Stabilisierung von erosionsgefährdeten Flächen.

Da Stabilizer hauptsächlich dazu dient, Granulate zusammenzuhalten, um stabile Oberflächen zu bilden, war eine Verklebung der Schilfrohre ohne Füllstoff nicht möglich. Jedoch wurde auch bei der Verwendung von grobem Schilfhäcksel als Füllstoff noch keine ausreichende Festigkeit erreicht. Durch die Beimischung von extra fein gesiebtem

<sup>44</sup> <http://www.stabilizer2000.com>; 3.8.2009.

Schilfhäcksel entstand folgender Prototyp. Für eine vollständige Trocknung des Prototyps in weniger als 24 Stunden wurde ein Trockenschrank verwendet.


<table> <tr> <td>Prototyp-Nummer:</td> <td>P.7</td> </tr> <tr> <td>Kurzbezeichnung:</td> <td>Stabilizer/Schilfgranulat</td> </tr> <tr> <td>Herstellungsmethode:</td> <td>Nass; Trockenschrank</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.7	Kurzbezeichnung:	Stabilizer/Schilfgranulat	Herstellungsmethode:	Nass; Trockenschrank																							
Prototyp-Nummer:	P.7																												
Kurzbezeichnung:	Stabilizer/Schilfgranulat																												
Herstellungsmethode:	Nass; Trockenschrank																												
<table> <tr> <td>Abmessungen:</td> <td>0,162x0,053x0,033 m</td> </tr> <tr> <td>Gewicht:</td> <td>0,064 kg</td> </tr> <tr> <td>Dichte:</td> <td>228,0 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Schilfrohr:</td> <td>48,72 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td>12,82 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Füllstoff:</td> <td>38,46 %</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,162x0,053x0,033 m	Gewicht:	0,064 kg	Dichte:	228,0 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfrohr:	48,72 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	12,82 %	Gewichtsanteil Füllstoff:	38,46 %																	
Abmessungen:	0,162x0,053x0,033 m																												
Gewicht:	0,064 kg																												
Dichte:	228,0 kg/m <sup>3</sup>																												
Gewichtsanteil Schilfrohr:	48,72 %																												
Gewichtsanteil Bindemittel:	12,82 %																												
Gewichtsanteil Füllstoff:	38,46 %																												
<table> <tr> <td>Bindemittel:</td> <td>Stabilizer®</td> </tr> <tr> <td>Hersteller:</td> <td>Stabilizer 2000</td> </tr> <tr> <td>Füllstoff:</td> <td>Schilfhäcksel</td> </tr> <tr> <td>Aushärtungsdauer:</td> <td>22 h</td> </tr> <tr> <td>Hilfsmittel:</td> <td>Trockenschrank 105°C</td> </tr> </table>	Bindemittel:	Stabilizer®	Hersteller:	Stabilizer 2000	Füllstoff:	Schilfhäcksel	Aushärtungsdauer:	22 h	Hilfsmittel:	Trockenschrank 105°C	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		-	+	Festigkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Energieaufwand	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Bindemittel:	Stabilizer®																												
Hersteller:	Stabilizer 2000																												
Füllstoff:	Schilfhäcksel																												
Aushärtungsdauer:	22 h																												
Hilfsmittel:	Trockenschrank 105°C																												
	-	+																											
Festigkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Energieaufwand	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												

Abbildung 31: Prototyp 7 - Stabilizer

#### *Bewertung:*

Der Prototyp war nach 22 Stunden vollständig ausgehärtet und machte nach ersten Tests einen guten Eindruck in Bezug auf Festigkeit und Belastbarkeit.

Bei der Herstellung eines Prototyps mit den gleichen Gewichtsanteilen in einem größeren Format war jedoch schnell zu erkennen, dass dieser nicht die gleiche Festigkeit aufzeigte wie die kleinere Version. Nach dem Begradigen der Ränder der Probe kam es schon bei einer geringen Zugbelastung zu einem Bruch. Das beste Klebeverhalten zeigte der Stabilizer-Prototyp in den Randbereichen der Probe. Zwischen den Schilfrohren war die Klebewirkung eher gering. Bei durchgeführten Nebenversuchen zeigte sich, dass mit der reinen Verklebung der Füllstoffe ohne die Verwendung von ganzen Schilfrohren bessere Ergebnisse mit diesem Bindemittel erzielt wurden.

Stabilizer eignet sich daher nicht zur Herstellung von Dämmstoffen aus Schilfrohren mit einer ausreichenden Festigkeit, sondern ausschließlich für eine Verbindung von feinen Granulaten.

### **P.8 Roggenleim**

Roggenleim ist ein Stärkeleim aus 100 % Roggenschrot und damit gänzlich biogen. Als Bindemittel in Lehmputzen erhöht Roggenleim die Trocken- und die Abriebfestigkeit und verringert die Rissbildung. Auch als Bindemittel für (Hanf-)Dichtbänder wird er eingesetzt, ebenso wie als Leim für schwere Tapeten, da seine Klebekraft wesentlich höher ist als die von handelsüblichem Tapetenkleister.





Einstellungen bzgl. Temperatur, Druck, Versuchsdauer und Gewichtsanteile der Komponenten durchgeführt.


Prototyp-Nummer: P.10 Kurzbezeichnung: PLA Herstellungsmethode: Heizpresse																																											
Abmessungen: 0,130x0,102x0,006 m Gewicht: 0,040 kg Dichte: 502,7 kg/m <sup>3</sup> Gewichtsanteil Schilfrohr: 91,82 % Gewichtsanteil Bindemittel: 8,18 % Gewichtsanteil Füllstoff: -																																											
Bindemittel: Polylactid Acid Hersteller: Far Eastern Textile Ltd. Füllstoff: - Aushärtungsdauer: 10 min. nach Pressen Hilfsmittel: Heizpresse																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Qualitative Bewertung</th> <th>-</th> <th colspan="3"></th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Qualitative Bewertung		-				+	Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Qualitative Bewertung		-				+																																					
Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																						
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																						
Elastizität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																						
Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																						
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																						

Abbildung 34: Prototyp 10 – PLA

**Bewertung:** Die Herstellung des Prototyps mit PLA als Bindemittel erfolgte wie bei den Versuchen mit Tannin mithilfe einer Heizpresse unter Druck, wodurch es ebenfalls zu einer hohen Verdichtung der Materialien und dadurch zur Entstehung eines flachen Musters gekommen ist. Im Gegensatz zu Tannin war mit PLA eine Verbindung von ganzen Schilfrohren möglich. Durch die Beanspruchung der Heizpresse kam es jedoch vor der Verklebung zu einem Bruch der Schilfrohre. Die Probe weist dennoch eine gute Stabilität auf. Nach den ersten Untersuchungen hinsichtlich der Bearbeitbarkeit ist anzumerken, dass es beim Schneiden zu einem Abplatzen des beanspruchten Rohres kommen kann. Durch die hohe Verdichtung ist auch bei diesem Prototyp wie beim Prototyp mit Tannin (TBA) von der Verwendung als Dämmstoff eher abzusehen.

### P.11 Holzleim

Holzleim ist ein synthetisch hergestellter lösungsmittelfreier Dispersionsklebstoff basierend auf PVAC (PolyVinylAcetat), welches in wässriger Lösung verteilt wird. Wegen seiner Farbe wird er oft auch nur Weißleim genannt.

Holzleim ist gebrauchsfertig, lässt sich durch einfaches Auftragen leicht verarbeiten und kann über einen langen Zeitraum gelagert werden. Der verwendete Holzleim sollte bei mindestens 5 °C verarbeitet werden und hat bei einer Raumtemperatur von 20 °C eine offene Verarbeitungszeit von max. 12 Minuten. Die Aushärtung des Leims sollte unter einem Anpressdruck von mindestens 15 N/cm<sup>2</sup> erfolgen.

Auch mit der Verwendung von Füllstoffen war eine Verklebung der Schilfrohre mit einem Gewichtsanteil des Holzleims unter 10 % nicht möglich, der Probekörper zerbrach bereits beim Herausnehmen aus der Form. Ein Bestreichen der Schilfrohre mit einer dünnen Schicht





Der erste Gesamteindruck des Prototyps ist relativ gut. Besonders die Art und Weise der Verklebung stellt eine deutliche Verbesserung zu den bisherigen Prototypen da. Für eine Verwendung in einem WDVS wäre jedoch eine Erhöhung der Festigkeit erforderlich.

## P.12 Heißkleber

Heißkleber sind Schmelzklebstoffe, die heiß aufgetragen werden und beim Abkühlen eine feste Verbindung herstellen. Heißkleber können aus verschiedenen Rohstoffen bestehen: Basispolymeren (z. B. Polyethylen [PE], Ethylen-Vinylacetat-Copolymer [EVN], Polypropylen [PP],...), Harzen (z. B. Kohlenwasserstoffharzen oder Kolophonium), Wachs, Stabilisatoren und anderen Zusatzmitteln. Das von uns verwendete Produkt „Thermo-soft“ der Firma Rapid ist ein Universal-Heißkleber auf Basis von EVN.

Ausgehend von den Ergebnissen bei den Versuchen mit Holzleim wurden die Schilfrohre durch Heißkleberbahnen verbunden. Dadurch war ein Gewichtsanteil des Bindemittels unter 10 % möglich. Heißkleber können manuell oder industriell mithilfe von Heizschläuchen und Auftragsköpfen aufgetragen werden. Eine mechanische Verpressung der Schilfrohre während der Abbindungszeit des Bindemittels ist notwendig. Die Aushärtung erfolgt bei Raumtemperatur.


<table border="1"> <tr> <td>Prototyp-Nummer:</td> <td>P.12</td> </tr> <tr> <td>Kurzbezeichnung:</td> <td>Heißkleber</td> </tr> <tr> <td>Herstellungsmethode:</td> <td>Trocken; Raumtemperatur</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.12	Kurzbezeichnung:	Heißkleber	Herstellungsmethode:	Trocken; Raumtemperatur																																															
Prototyp-Nummer:	P.12																																																				
Kurzbezeichnung:	Heißkleber																																																				
Herstellungsmethode:	Trocken; Raumtemperatur																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Abmessungen:</td> <td>0,500x0,300x0,050 m</td> </tr> <tr> <td>Gewicht:</td> <td>0,863 kg</td> </tr> <tr> <td>Dichte:</td> <td>104,6 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Schilfrohr:</td> <td>90,90 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td>9,10 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,500x0,300x0,050 m	Gewicht:	0,863 kg	Dichte:	104,6 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfrohr:	90,90 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	9,10 %	Gewichtsanteil Füllstoff:	-																																									
Abmessungen:	0,500x0,300x0,050 m																																																				
Gewicht:	0,863 kg																																																				
Dichte:	104,6 kg/m <sup>3</sup>																																																				
Gewichtsanteil Schilfrohr:	90,90 %																																																				
Gewichtsanteil Bindemittel:	9,10 %																																																				
Gewichtsanteil Füllstoff:	-																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Bindemittel:</td> <td>Heißkleber, Thermo-soft</td> </tr> <tr> <td>Hersteller:</td> <td>esco Rapid</td> </tr> <tr> <td>Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Aushärtungsdauer:</td> <td>30 min</td> </tr> <tr> <td>Hilfsmittel:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Bindemittel:	Heißkleber, Thermo-soft	Hersteller:	esco Rapid	Füllstoff:	-	Aushärtungsdauer:	30 min	Hilfsmittel:	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		-					+	Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Elastizität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Bindemittel:	Heißkleber, Thermo-soft																																																				
Hersteller:	esco Rapid																																																				
Füllstoff:	-																																																				
Aushärtungsdauer:	30 min																																																				
Hilfsmittel:	-																																																				
	-					+																																															
Festigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Elastizität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Energieaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																

Abbildung 37: Prototyp 12 – Heißkleber

**Bewertung:** Bei einer Verklebung der Schilfrohre mit Heißkleber ist eine Erhitzung des Bindemittels notwendig, was den Energieaufwand beim Verkleben im Vergleich zum Holzleim erhöht. Der Auftrag erfolgte dann wie beim Holzleim nicht flächendeckend, sondern schichtweise in konzentrierten Kleberbahnen. Durch den Energieinput beim Verkleben ist dafür andererseits eine vollständige Aushärtung des Prototyps in weniger als 30 Minuten bei Raumtemperatur möglich. Lediglich ein Zusammendrücken der zu verklebenden Schichten in den ersten Minuten nach dem Klebstoffauftrag ist erforderlich.

Im Vergleich zum Holzleim konnte mit dem Heißkleber eine etwas höhere Festigkeit in einer deutlich kürzeren Abbindungszeit erreicht werden. Die Stabilität des Prototyps für eine Verwendung als Dämmstoff in einem WDVS ist jedoch immer noch nicht optimal.

Durch eine Erhöhung des Bindemittelanteils könnte der Einschluss der Schilfrohre in den Kleberbahnen optimiert und dadurch auch die Festigkeit des Prototyps verbessert werden. Der Gewichtsanteil des Bindemittels würde dann jedoch bei mehr als 10 % liegen.

### P.13 PU-Schaum

PU-Schaum wird aus dem synthetisch erzeugten Polyurethan hergestellt, welches abhängig von der Herstellung unterschiedliche Eigenschaften aufweisen kann. In aufgeschäumter Form wird es z. B. als dauerelastischer Weichschaum für Schuhsohlen oder als harter Montage- oder Bauschaum zum Abdichten, Isolieren oder Dämmen verwendet.

Ausgehend von den vorangegangenen Versuchen mit der punktierten Verklebung (Auftrag in Bahnen) sollte untersucht werden, ob durch ein voluminöseres Bindemittel die Festigkeit noch weiter erhöht werden kann.

Der eingesetzte Schaum ist ein 1K-PUR-Schaum (Einkomponenten-Polyurethan-Schaum). Bei diesen Schäumen werden bereits bei der Produktion die Bestandteile Isocyanat und Polyol zu vorvernetzten Polyurethanen gemischt. Diese Prepolymere besitzen noch freie Isocyanatgruppen für eine endgültige Vernetzung mit Wasser beim Auftrag. Man spricht auch von feuchtigkeitshärtenden 1K-Polyurethanen, da die Reaktion mit dem an den Fügeflächen und in der Luft vorhandenen Wasser stattfinden kann. Die Aushärtung erfolgt dementsprechend von außen nach innen.<sup>46</sup> Nach ungefähr acht Minuten ist der Schaum klebfrei, und nach ca. 40 Minuten lässt er sich bereits schneiden. Innerhalb von vier bis fünf Stunden ist der Schaum vollständig ausgehärtet und ohne Einschränkung voll belastbar.


<table> <tr> <td>Prototyp-Nummer:</td> <td>P.13</td> </tr> <tr> <td>Kurzbezeichnung:</td> <td>PU-Schaum</td> </tr> <tr> <td>Herstellungsmethode:</td> <td>Trocken; Raumtemperatur</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.13	Kurzbezeichnung:	PU-Schaum	Herstellungsmethode:	Trocken; Raumtemperatur																							
Prototyp-Nummer:	P.13																												
Kurzbezeichnung:	PU-Schaum																												
Herstellungsmethode:	Trocken; Raumtemperatur																												
<table> <tr> <td>Abmessungen:</td> <td>0,500x0,300x0,050 m</td> </tr> <tr> <td>Gewicht:</td> <td>0,934 kg</td> </tr> <tr> <td>Dichte:</td> <td>124,6 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Schilfrohr:</td> <td>89,62 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td>10,38 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,500x0,300x0,050 m	Gewicht:	0,934 kg	Dichte:	124,6 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfrohr:	89,62 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	10,38 %	Gewichtsanteil Füllstoff:	-																	
Abmessungen:	0,500x0,300x0,050 m																												
Gewicht:	0,934 kg																												
Dichte:	124,6 kg/m <sup>3</sup>																												
Gewichtsanteil Schilfrohr:	89,62 %																												
Gewichtsanteil Bindemittel:	10,38 %																												
Gewichtsanteil Füllstoff:	-																												
<table> <tr> <td>Bindemittel:</td> <td>PU-Schaum</td> </tr> <tr> <td>Hersteller:</td> <td>Zeus GmbH</td> </tr> <tr> <td>Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Aushärtungsdauer:</td> <td>20 min</td> </tr> <tr> <td>Hilfsmittel:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Bindemittel:	PU-Schaum	Hersteller:	Zeus GmbH	Füllstoff:	-	Aushärtungsdauer:	20 min	Hilfsmittel:	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>-</th> <th>+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		-	+	Festigkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		Elastizität	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Energieaufwand	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
Bindemittel:	PU-Schaum																												
Hersteller:	Zeus GmbH																												
Füllstoff:	-																												
Aushärtungsdauer:	20 min																												
Hilfsmittel:	-																												
	-	+																											
Festigkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Bearbeitbarkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																												
Elastizität	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Energieaufwand	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																												
Herstellungsaufwand	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																												

Abbildung 38: Prototyp 13 – PU-Schaum

<sup>46</sup> Habenicht 2001; S. 26f.

*Bewertung:* Durch PU-Schaum wird eine gute Festigkeit der Platten erzielt, die Abbindungszeit ist kurz. Im ausgehärteten Zustand weist der Schaum eine sehr gute Witterungsbeständigkeit auf, wodurch er sich besonders für die Verwendung im Außenbereich eignen würde.

Allerdings ist der Primärenergieaufwand für das Bindemittel hoch, die Inhaltsstoffe sind baubiologisch bedenklich, und die Entsorgung ist problematisch, was nicht den Projektzielen eines ökologisch und baubiologisch hochwertigen Schilf-WDVS entspricht. Die Versuche mit PU-Schaum zeigten jedoch für die weitere Entwicklung, dass durch ein voluminöses (aufgeschäumtes) Bindemittel die Festigkeit der Platten erhöht werden kann.

#### **P.14 Aufgeschäumter Thermoplast**

Bei diesem Bindemittel handelt es sich um aufgeschäumten Heißkleber, also einen physikalisch abbindenden Klebstoff mit größerem Volumen.

Für die Musterproduktion wurde ein preiswerter Thermoplast verwendet. Dieser Thermoplast entsteht als Nebenprodukt bei der Herstellung von Polypropylen und kann problemlos thermisch verwertet werden. Von der Firma Henkel kann für diesen Thermoplast eine Temperaturbeständigkeit von -20 bis +70 °C garantiert werden, was bedeutet, dass es zu keiner selbständigen Lösung der Klebeschichten kommt. Eine erfolgreiche Anwendung findet dieser Kleber bereits bei Temperaturen im Tiefkühlkostbereich. Bei einer Temperatur von -20 °C wird er jedoch hart und spröde und kann unter Belastung zerspringen. Mit zunehmender Temperatur steigt dann auch wieder die Elastizität. Im oberen Temperaturbereich liegt der Erweichungspunkt bei 100 bis 110 °C. Angewendet sollte der verwendete Thermoplast aber nach Möglichkeit nicht im Bereich über 80 °C, da er dann zu weich und elastisch wird und an Klebekraft verliert. Dies ist vor allem für spezielle Anwendungsfälle zu beachten, in denen es zu einer dauerhaften Hitzebeanspruchung kommen kann, wie z. B. beim Einbau in der Nähe eines Kamins.

Wie alle Kunststoffe sollte der Thermoplast keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden, da dies zu einer Versprödung des Materials führen kann. Im eingebauten Zustand hat die UV-Strahlung jedoch keinen Einfluss mehr auf den Thermoplast, weshalb dieses Kriterium hauptsächlich für die Lagerbedingungen zu beachten ist.

Als Ausgangsmaterial dienten Schilfmatten mit 100 Halmen per Laufmeter, die in Abständen von 10 cm mit Polyamidschnüren zusammengebunden waren (siehe Abbildung 39). In diesen Matten sind die Schilfrohre für die Prototypenproduktion bereits optimal ausgerichtet, durch die Bindung erhält die Platte zusätzliche Festigkeit.

Die Schilfmatten wurden mithilfe eines Auftragsgeräts in Abständen von je 20 cm mit Klebebahnen versehen und aufeinander verklebt (siehe Abbildung 39). Die Aushärtung des Klebstoffs erfolgt bei Raumtemperatur in ca. 10 Minuten.



Abbildung 39: Links: Schilfmatten, mit Polyamidschnüren gebunden; rechts: Aufbringen der Klebebahnen mittels Roboterarm

Eine 5 cm starke Platte war mit der dargestellten Methode problemlos herzustellen. Zunächst wurden Platten mit den Abmaßen 30 x 50 x 5 cm hergestellt. Für ein in der Praxis verwertbares Produkt sind Abmessungen von zumindest 60 x 100 x 5 cm notwendig. Auch diese Dimensionen konnten problemlos erreicht werden. Eine Steigerung der Plattenstärke auf 10 cm konnte ebenfalls realisiert werden. Damit können die gängigsten Dämmstärken bereitgestellt werden. Eine weitere Steigerung der Dämmstärke ist noch möglich.


<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Prototyp-Nummer:</td> <td>P.14</td> </tr> <tr> <td>Kurzbezeichnung:</td> <td>Thermoplast</td> </tr> <tr> <td>Herstellungsmethode:</td> <td>Trocken; Raumtemperatur</td> </tr> </table>	Prototyp-Nummer:	P.14	Kurzbezeichnung:	Thermoplast	Herstellungsmethode:	Trocken; Raumtemperatur																									
Prototyp-Nummer:	P.14																														
Kurzbezeichnung:	Thermoplast																														
Herstellungsmethode:	Trocken; Raumtemperatur																														
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Abmessungen:</td> <td>0,940x0,510x0,098 m</td> </tr> <tr> <td>Gewicht:</td> <td>6,2 kg</td> </tr> <tr> <td>Dichte:</td> <td>133 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Schilfrohr:</td> <td>93 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Bindemittel:</td> <td>9,5 %</td> </tr> <tr> <td>Gewichtsanteil Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Abmessungen:	0,940x0,510x0,098 m	Gewicht:	6,2 kg	Dichte:	133 kg/m <sup>3</sup>	Gewichtsanteil Schilfrohr:	93 %	Gewichtsanteil Bindemittel:	9,5 %	Gewichtsanteil Füllstoff:	-	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Qualitative Bewertung</th> <th style="text-align: center;">-</th> <th style="text-align: center;">+</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Festigkeit</td> <td style="text-align: center;">□ □ □ ■ □</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bearbeitbarkeit</td> <td style="text-align: center;">□ □ □ □ ■</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elastizität</td> <td style="text-align: center;">□ □ □ ■ □</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energieaufwand</td> <td style="text-align: center;">□ □ ■ □ □</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Herstellungsaufwand</td> <td style="text-align: center;">□ □ □ □ ■</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Qualitative Bewertung	-	+	Festigkeit	□ □ □ ■ □		Bearbeitbarkeit	□ □ □ □ ■		Elastizität	□ □ □ ■ □		Energieaufwand	□ □ ■ □ □		Herstellungsaufwand	□ □ □ □ ■	
Abmessungen:	0,940x0,510x0,098 m																														
Gewicht:	6,2 kg																														
Dichte:	133 kg/m <sup>3</sup>																														
Gewichtsanteil Schilfrohr:	93 %																														
Gewichtsanteil Bindemittel:	9,5 %																														
Gewichtsanteil Füllstoff:	-																														
Qualitative Bewertung	-	+																													
Festigkeit	□ □ □ ■ □																														
Bearbeitbarkeit	□ □ □ □ ■																														
Elastizität	□ □ □ ■ □																														
Energieaufwand	□ □ ■ □ □																														
Herstellungsaufwand	□ □ □ □ ■																														
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Bindemittel:</td> <td>Thermoplast</td> </tr> <tr> <td>Hersteller:</td> <td>Fa. Henkel</td> </tr> <tr> <td>Füllstoff:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Aushärtungsdauer:</td> <td>ca. 10 min</td> </tr> <tr> <td>Hilfsmittel:</td> <td>-</td> </tr> </table>	Bindemittel:	Thermoplast	Hersteller:	Fa. Henkel	Füllstoff:	-	Aushärtungsdauer:	ca. 10 min	Hilfsmittel:	-																					
Bindemittel:	Thermoplast																														
Hersteller:	Fa. Henkel																														
Füllstoff:	-																														
Aushärtungsdauer:	ca. 10 min																														
Hilfsmittel:	-																														

Abbildung 40: Prototyp 14 – Aufgeschäumter Thermoplast

**Bewertung:** Im Vergleich zu den anderen Produktionsverfahren können mit der hier angewandten Methode (Aufschäumen, Verkleben mittels Auftragsgerät) Schilfrohrplatten in sehr kurzer Zeit verklebt werden. Durch das Aufschäumen ist ein effizienter Einsatz des Klebstoffs möglich – die Klebermenge kann bei gleichbleibendem Volumen damit um bis zu 50 % reduziert werden. Auch die Festigkeit sowie die Bearbeitbarkeit des Prototyps wurden als gut bzw. sehr gut bewertet. Der Energieeinsatz ist relativ gering: Nur der Kleber wird auf rund 190 °C erwärmt, die Verbindung erfolgt durch Abkühlen des Klebers, wodurch keine aufwendige Trocknung notwendig ist.

### 3.2.3. Vergleich der Prototypen

Nach der Herstellung von Plattenprototypen waren diese jeweils zunächst auf ihre qualitativen Eigenschaften hin beurteilt worden – Festigkeit, Herstellungsaufwand etc. Auch der Bindemittelanteil erwies sich als ein relevantes Bewertungskriterium. Diese Eigenschaften werden einander in der folgenden Tabelle zusammengefasst gegenübergestellt.

Prototyp	Bindemittel	Bindemittelanteil in %	Festigkeit	Bearbeitbarkeit	Elastizität	Energieaufwand	Herstellungsaufwand
P.1	Gummi Arabicum	40,86	++	+	±	--	--
P.2	Haga Fliesen- und Plattenkleber	68,49	+	±	--	+	±
P.3	NHL-Kalkputz	72,4	±	-	--	+	±
P.4	Wärmedämmender Leichtputz NHL	84,48	-	±	--	+	±
P.5	Kasein	36,6	++	++	--	--	+
P.6	Stärke	8,29	+	++	-	--	--
P.7	Stabilizer®	12,82	+	+	--	--	-
P.8	Roggenleim	8,73	±	±	--	-	--
P.9	Tannin	5,36	++	++	--	-	±
P.10	PLA	8,18	+	±	--	-	±
P.11	Holzleim	8,16	±	+	+	++	+
P.12	Heißkleber	9,1	±	+	++	±	++
P.13	PU-Schaum	10,38	+	++	+	±	++
P.14	Aufgeschäumter Thermoplast	9,5	+	++	+	±	++

Tabelle 7: Vergleich der Plattenprototypen

Die ersten Versuche, in denen Schilfrohre mit Bindemittel zu Platten aufgefüllt wurden, hatten zu Prototypen mit zum Teil guter Festigkeit und Bearbeitbarkeit geführt, allerdings waren die Platten durch den hohen Bindemittelanteil auch sehr schwer und die Herstellung sehr materialaufwendig. Prototypen, die mit weniger Bindemittel verfüllt wurden, wiesen wiederum nicht genug Festigkeit auf. Teilweise war auch der Herstellungsprozess durch die Notwendigkeit einer Trockenkammer oder einer Heizpresse zu hoch.

Diese Probleme konnten durch eine Adaption des Herstellungsprozesses behoben werden – die Platten wurden nun nicht mehr mit Bindemittel verfüllt, sondern dieses wurde in einzelnen Bahnen zwischen die Schilfrohrsichten aufgetragen. Damit konnten Prototypen mit niedrigem Bindemittelanteil bei relativ geringem Aufwand hergestellt werden. Die Festigkeit war jedoch auch bei dieser Herstellungsvariante zu Beginn nicht hoch genug. Als Lösung dafür erwies sich die Möglichkeit, aufgeschäumte Bindemittel zu verwenden, die durch das höhere Volumen die Schilfrohre besser zusammenhalten und damit feste sowie gut

bearbeitbare Platten ermöglichen. PU-Schaum als eines dieser getesteten voluminösen Bindemittel weist jedoch eine negative Ökobilanz auf. Aufgeschäumter Thermoplast stellte hier eine ökologisch sinnvollere Alternative dar.

Der Herstellungsprozess konnte ebenfalls weiter verbessert werden, indem der Auftrag des Thermoplasts maschinell erfolgte. Damit sind größere Mengen an Platten in kurzer Zeit herstellbar, und die Standardisierung der Produktion ist möglich.

Hinsichtlich Herstellungsaufwand, Bindemittelanteil, Festigkeit und Bearbeitbarkeit schnitt daher der Prototyp P.14, die thermoplastgebundene Schilfrohrplatte, im Vergleich zu den anderen hergestellten Platten am besten ab. Darüber hinaus sind für einen Dämmstoff jedoch noch andere Kriterien wesentlich – vor allem Materialkennwerte wie Wärmeleitfähigkeit, Wasseraufnahme und Brandverhalten. Diese wurden daher in einem nächsten Schritt untersucht.

### **3.3. Ermittlung von Materialkennwerten**

Je nach verwendeten Komponenten und Art der Herstellung entstanden Schilfplatten, die sich in ihrer Festigkeit, ihrem Gewicht etc. zum Teil deutlich voneinander unterschieden. Einige davon erwiesen sich bereits bei ersten Tests als ungeeignet für eine weitere Verwendung (z. B. aufgrund mangelnder Festigkeit). Mit den anderen Prototypen wurden in weiterer Folge Versuche zur Ermittlung von Materialkennwerten durchgeführt. Auch loses Schilf (Schilfhäcksel bzw. lose Rohre) wurde untersucht. Zur Referenz wurden Messungen mit der derzeit verwendeten drahtgebundenen Schilfrohrplatte gemacht.

Die durchgeführten Messungen und Prüfungen müssen zum Teil auch für die Zertifizierung eines Dämmstoffs gemacht werden. Folgende Materialeigenschaften wurden ermittelt:

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  (Messungen in mehreren Labors)
- Wasseraufnahme
- Brandverhalten

Welche Versuche mit welchen Prototypen durchgeführt wurden, ist in Tabelle 8 dargestellt.

Prototyp	Bindemittel	$\lambda$ Ecolabor	$\lambda$ Heiz- kasten	Wasser- auf- nahme	Brand- verhalten
P.1	Gummi Arabicum	-	-	-	-
P.2	Fliesen- und Plattenkleber	-	-	-	-
P.3	NHL-Kalkputz	-	-	-	-
P.4	Wärmedämmender Leichtputz NHL	-	•	•	-
P.5	Kasein	-	-	•	-
P.6	Stärke	-	•	•	•
P.7	Stabilizer®	-	-	-	-
P.8	Roggenleim	-	-	-	-
P.9	Tannin	-	-	-	-
P.10	PLA	-	-	-	-
P.11	Holzleim	-	-	-	-
P.12	Heißkleber	-	-	-	-
P.13	PU-Schaum	-	•	-	-
P.14	Aufgeschäumter Thermoplast	-	•	-	•
	Lose Schilfrohre	•	-	-*	•
	Schilfhäcksel	•	-	•	•
	Drahtgebundene Schilfrohrplatte	•	•	•	•

\* Die Wasseraufnahme von losen Schilfrohren entspricht jener der drahtgebundenen Schilfrohrplatte.

Tabelle 8: Versuche zur Ermittlung von Materialkennwerten (• durchgeführt, - nicht durchgeführt)

### 3.3.1. Wärmeleitfähigkeit

Die Messungen zur Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit sind in 2 verschiedenen Laboren durchgeführt worden. Zum einen im Ecolabor, einer akkreditierten Prüfanstalt und Überwachungsstelle für Wärme- Feuchte- Schall- und Brandschutz mit einem Einplattenmessgerät, und zum anderen im Institut für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit an der TU Wien mit einem Heizkasten, dessen Konstruktion von der GrAT dort in Auftrag gegeben wurde.

#### Heizkasten

Die Wärmeleitfähigkeit der Proben wurde in diesem Verfahren mit einem selbst konstruierten Heizkasten bestimmt. Der Bau des Prüfgerätes sowie die Durchführung der Messungen erfolgten in Anlehnung an die ÖNORM EN 1934 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Messung des Wärmedurchlasswiderstandes Heizkastenverfahren mit dem Wärmestrommesser – Mauerwerk“. In der Norm ist kein exakter Aufbau des Prüfgerätes enthalten, sondern nur eine allgemeine grundsätzliche Beschreibung der technischen Erfordernisse.

Es ist anzumerken, dass die Messergebnisse nur der Abschätzung dienen und dieses Prüfgerät keiner offiziellen Eichung unterzogen worden ist.

Der Heizkasten besteht aus einer Warm- und einer Kaltseite, mit jeweils einer Luftkammer, zwischen welche der Probekörper eingespannt wird und diese voneinander trennt. Durch die Warm- und die Kaltseite können die Randbedingungen der Proben unter stationären Bedingungen zwischen zwei Umgebungen nachgebildet werden. Mithilfe von Wärmestromsensoren ist es nun möglich, den Wärmedurchlasswiderstand von einer Oberfläche zur anderen des Probekörpers zu bestimmen, über welchen die Wärmeleitfähigkeit errechnet werden kann. Die Messungen sind unter konstanten Bedingungen bzgl. Temperaturen und Luftgeschwindigkeiten in den Kammern durchzuführen, da die an den Oberflächen des Probekörpers ausgetauschte Wärme sowohl Konvektions- als auch Strahlungsanteile enthält.



Abbildung 41: Links: Heizkasten im Betrieb mit eingespannter Probe und Abluftelemente auf der Kaltseite. Rechts: Luftleitblech auf der Kaltseite

Die Außenabmessungen der einzelnen Kammerseiten betragen 93,5 cm x 93,5 cm x 17 cm. Die Wärmestromsensoren sind im Bereich des Messfeldes auf einer dünnen Holzplatte an der Vorderseite der Warmseite montiert. Die Wärmestromsensoren liegen auf der anderen Seite direkt am zu prüfenden Bauteil an, welches sich in einer speziell angefertigten Probekörperhalterung zur Vermeidung von Seitenflächen-Wärmeverlusten befindet. Die Oberflächentemperaturen an beiden Seiten der Proben werden mit Thermoelementen des Typs K gemessen.

Dieses Prüfgerät verfügt über eine Messfläche von 50 cm x 50 cm, welche mit 5 Wärmestromsensoren ausgestattet ist. Bei diesem Verfahren wird also nicht die gesamte Oberfläche der Probe gemessen wie es bei dem Plattenmessgerät der Fall ist, sondern nur einzelne Bereiche. Aufgrund der flächendeckenden Verteilung der Wärmestromsensoren, kann man jedoch den Mittelwert der einzelnen Sensoren für die Wärmeleitfähigkeit annehmen. Bei inhomogenen Proben kann dieses aber zu geringen Abweichungen führen. Zur Kalibrierung des Heizkastens wurde zunächst eine Messung mit einem homogenen Dämmstoff (XPS) durchgeführt, da für diesen bereits ein bekannter Wert vorliegt. Der gemessene Wert von 0,028 W/mK liegt unter dem angegebenen von 0,035 W/mK. Die Messergebnisse der anderen Probekörper waren deshalb mit dem Kalibrierfaktor von 1,25 zu multiplizieren, um die Abweichung des Prüfgerätes auszugleichen.



Die Messungen wurden mit konditionierten Proben (Lagerung im Trockenschrank bei 70 °C) und mit nicht konditionierten Proben (Lagerung bei Raumtemperatur) durchgeführt.

Probe	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kg]	Dichte trocken* [kg/m <sup>3</sup> ]	Heizkasten [W/mK]	λ**
Draht 2	0,305	0,300	0,048	0,72079	157,47	0,042	<b>0,053</b>
Draht 3	0,300	0,300	0,048	0,79417	172,14	0,042	<b>0,053</b>
Stärke/Zell.	0,300	0,300	0,060	1,06677	185,65	0,040	<b>0,050</b>
PU - Schaum	0,300	0,285	0,050	0,54918	118,60	0,039	<b>0,049</b>
Thermoplast 2	0,300	0,300	0,055	0,69034	132,35	0,046	<b>0,058</b>
XPS	0,300	0,300	0,050	0,17595	35,05	0,028	<b>0,035</b>

Tabelle 9: Messergebnisse des Heizkastens - Wärmeleitfähigkeit der konditionierten Proben, \*Probe getrocknet bei 70°C, \*\* mit Kalibrierfaktor XPS 1,25

Probe	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kg]	Dichte* [kg/m <sup>3</sup> ]	Heizkasten [W/mK]	λ**
Draht 1	0,300	0,305	0,050	0,81862	178,93	0,048	<b>0,059</b>
Leichtputz	0,300	0,300	0,055	2,93500	592,93	0,104	<b>0,130</b>
Stärke/Zell.	0,300	0,300	0,060	1,06677	197,55	0,044	<b>0,055</b>
PU - Schaum	0,300	0,285	0,050	0,54918	128,46	0,045	<b>0,056</b>
Thermoplast 1	0,300	0,300	0,055	0,70274	141,97	0,050	<b>0,063</b>
XPS	0,300	0,300	0,050	0,17595	35,10	0,028	<b>0,035</b>

Tabelle 10: Messergebnisse des Heizkastens - Wärmeleitfähigkeit der feuchten Proben, \*Raumtemperatur, \*\* mit Kalibrierfaktor XPS 1,25

Wie in den Tabellen zu sehen ist, liegen die Wärmeleitfähigkeitswerte der nicht konditionierten Proben deutlich über denen der konditionierten Proben. Dieses ist auf den höheren Wassergehalt in den bei Raumtemperatur gelagerten Proben zurückzuführen. Wegen dem Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit der Proben sollten ebenfalls Messungen mit konditionierten Proben bei 23 °C und 80 % r.F. durchgeführt werden, um über diese Messwerte den Umrechnungsfaktor für die Ausgleichsfeuchte zu berechnen. Ansonsten ist entsprechend der ÖNORM B 6015 - Teil 2 ein Feuchtezuschlag von 20 % für nachwachsende Rohstoffe anzugeben.

Sieht man sich die Ergebnisse der konditionierten Proben genauer an, dann fällt auf, dass der Lambda-Wert bei den drahtgebundenen Schilfrohrplatten identisch ist, obwohl die Dichte unterschiedlich ist. Alle Probekörper waren zentral angeordnet, aber wegen dem großen Abstand zwischen den Bindungen (Draht und geschäumter Thermoplast) bei den draht- und thermoplastgebundenen Proben waren die Bindungen während der Messungen genau zwischen den Wärmestromsensoren angeordnet. Dieses bedeutet, dass die Wärmeleitfähigkeit nicht nur von der Dichte, sondern wahrscheinlich auch vom Rohrdurchmesser und/oder vom Abstand zwischen den Rohren beeinflusst wird.

Bei der PU-Schaumplatte war genau das Gegenteil der Fall. Wegen der schichtweise versetzten Auftragung des Bindemittels, lag dieses im zentralen Messfeld des Wärmestromsensors, wodurch sich der niedrigere Lambda-Wert erklärt. Im weiteren Vorgehen sollte deshalb der Unterschied der Wärmeleitfähigkeit der Proben an Stellen mit und ohne Bindemittel untersucht werden, sowie ein möglicher Einfluss der

Rohrdurchmesser, der Abstände zwischen den Rohren und der Dichte der gesamten Dämmplatte.

### **Ecolabor**

Die Messungen der Wärmeleitfähigkeit im Ecolabor erfolgten gemäß der europäischen Norm EN 12667: 2001 mit einem Einplattengerät nach ISO8302: 1991 bzw. EN 1946-2: 1999. Die Proben mit den Abmaßen von 50 cm x 50 cm werden mit der Warmseite nach unten eingebaut und ganzflächig gemessen. Vor der Messung werden die Proben wie beim Heizkastenverfahren im Trockenschrank bei 70 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Für eine Überprüfung der losen Schilfrohre und der Schilfhäcksel mit der gewünschten Dichte müssen diese zunächst in einem Rahmen aus XPS fixiert werden. Für die drahtgebundene Schilfrohrplatte ist dieses nicht notwendig.

Die Proben sind bei einer mittleren Temperatur von 10 °C zwischen der Heiz- und der Kühlplatte und in trockenem Zustand gemessen worden. Die Ergebnisse bei der eingestellten sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

<b>Probe</b>	<b>Dichte [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Lambda-Wert [W/mK]</b>
<b>drahtgebundene Schilfrohrplatte</b>	158	0,0513
<b>Schilfrohre lose</b>	136	0,0502
<b>Schilfhäcksel</b>	148	0,0420

Tabelle 11: Wärmeleitfähigkeit laut Ecolabor

Bei einem Vergleich der drahtgebundenen Schilfrohrplatte zeigt sich, dass der Lambda-Wert beim Heizkasten mit 0,053 W/mK nur gering vom gemessenen Wert des Ecolabors mit 0,0513 W/mK abweicht.

### **3.3.2. Wasseraufnahme**

Wie schon im Kapitel 2.2.2 erwähnt haben die Schilfhäcksel durch die größere Oberfläche im Vergleich zu ganzen Halmen eine höhere Wasseraufnahme. Naheliegend dazu stellt sich die Frage, ob bei der Wasseraufnahme über die Luftfeuchte ebenfalls ein Unterschied zwischen Schilfrohren und Schilfhäckseln vorhanden ist. Um dies zu Überprüfen sind jeweils 4 Proben Schilfrohre und Schilfhäcksel in einer Klimakammer bei 20 °C und 60 % r.F. konditioniert worden. Nach Einstellung der Gleichgewichtsfeuchte erfolgte eine Rücktrocknung der Proben in einem Trockenschrank nach der Darr-Methode. Die ermittelten Wasseranteile sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Probe	Gewicht feucht [g]	Gewicht trocken [g]	Gewicht Wasser [g]	Wasseranteil [%]
Schilfrohr 1	92,64	85,40	7,24	7,82
Schilfrohr 2	75,75	69,60	6,15	8,12
Schilfrohr 3	80,88	74,39	6,49	8,02
Schilfrohr 4	81,09	74,44	6,65	8,20
Schilfhäcksel 1	57,49	52,03	5,46	9,50
Schilfhäcksel 2	70,46	63,93	6,53	9,27
Schilfhäcksel 3	68,41	62,11	6,30	9,21
Schilfhäcksel 4	77,55	70,45	7,10	9,16

Tabelle 12: Wasseranteil in Schilfrohren und -häcksel

Die gemessenen Proben ergaben Mittelwerte von **8,04 %** für die Schilfrohre und **9,28 %** für die Schilfhäcksel. Die Wasseraufnahme ist damit bei den Schilfhäckseln um **1,24 %** höher als bei ganzen Rohren.

### Wasseraufnahme nach EN 1609

Nach der EN 1609 muss die Wasseraufnahme eines Dämmstoffs bei kurzzeitigem (24 h) teilweisen Eintauchen bestimmt werden. Der Versuch wurde nach dem Abtropfverfahren durchgeführt. Dafür wird zunächst die Ausgangsmasse der Probe bestimmt und diese dann mit einer der größten Seitenflächen nach unten gerichtet in einem Wasserbehälter fixiert. Nach Zugabe des Wassers ist darauf zu achten, dass der Wasserspiegel während der gesamten Prüfung  $10 \pm 2$  mm über der Unterkante der Probe bleibt. Nach Ablauf der 24 Stunden wird der Probekörper senkrecht auf eine um  $45^\circ$  geneigte Abtropfvorrichtung gelegt und nach weiteren zehn Minuten erneut gewogen. Über die Massenänderung kann die Wasseraufnahme berechnet werden.

Die Schilfrohre und Schilfhäcksel wurden hier zusätzlich in folgenden Versuchsvarianten getestet:

- 24 h / 30 d
- Rohr-Enden offen / Rohr-Enden geschlossen (abgeklebt)
- teilweise eingetaucht / vollständig eingetaucht

Die Ergebnisse (in kursiver Schrift die der EN 1609 entsprechenden Versuchsanordnungen):

<b>Versuchsanordnung</b>	<b>Ausgangsdichte [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Gewichtszunahme [%]</b>
<i>Schilfrohre: Enden offen, teilweise eingetaucht, 24 h</i>	188	38,22
<i>Schilfrohre: Enden offen, teilweise eingetaucht, 30 d</i>	188	75,57
<i>Schilfrohre: Enden offen, vollständig eingetaucht, 24 h</i>	189	90,96
<i>Schilfrohre: Enden offen, vollständig eingetaucht, 30 d</i>	189	137,26
<i>Schilfrohre: Enden geschlossen, teilweise eingetaucht, 24 h; 1</i>	233	20,09
<i>Schilfrohre: Enden geschlossen, teilweise eingetaucht, 24 h; 2</i>	215	20,39
<i>Schilfhäcksel: teilweise eingetaucht, 24 h; 1</i>	146	74,73
<i>Schilfhäcksel: teilweise eingetaucht, 24 h; 2</i>	148	70,17
<i>Wärmedämmender Leichtputz NHL, teilweise eingetaucht, 24 h; 1</i>	618	43,59
<i>Kasein, teilweise eingetaucht, 24 h</i>	333	20,78
<i>Stärke, teilweise eingetaucht, 24 h</i>	202	222,03

Tabelle 13: Gewichtszunahme durch Wasseraufnahme

### Schilfrohre

Bei Schilfrohren mit offenen Enden ist bei teilweisem kurzzeitigen Eintauchen eine Gewichtszunahme von 38,22 % zu verzeichnen, wobei die meiste Wasseraufnahme dabei über die offenen Rohr-Enden erfolgt. Die Versuchsmuster wurden gemäß der Norm mit 200 x 200 mm hergestellt, wodurch die offenen Rohr-Enden in relativ kurzen Abständen auftreten. In der Praxis kommen Schilfrohrplatten hingegen in Längen von mindestens einem Meter zum Einsatz, damit treten offene Rohr-Enden prinzipiell nur jeden Meter auf. Die Wasseraufnahme von rund 38,22 % ist daher nur für die Maße der Versuchsmuster zutreffend.

Der Versuch wurde daraufhin mit abgeklebten Rohr-Enden wiederholt, dadurch konnte die Wasseraufnahme auf rund 20 % verringert werden.



Abbildung 42: Links: Schilfrohrprobe mit offenen Enden. Rechts: Probe mit abgeklebten Enden

Die Schilfrohrproben mit offenen Enden, die langfristig (30 Tage) eingetaucht wurden, wurden durch die Wasseraufnahme dunkler; bei den teilweise eingetauchten Proben bildete sich im Bereich der Wasseroberfläche Schimmel (siehe Abbildung 43).



Abbildung 43: Veränderung der Schilfrohre und Schimmelbildung bei langfristig eingetauchten Probekörpern (nach Beendigung des Versuches; Links: Probe 1 - teilweises Eintauchen. Rechts: Probe 2 – vollständiges Eintauchen)

Auch nach Rücktrocknung bei Raumtemperatur waren die Veränderungen noch sichtbar (siehe Abbildung 44). Die Halme wiesen jedoch im Vergleich zum Ausgangszustand keine merkbare Abnahme der Festigkeit auf.



Abbildung 44: Probekörper nach Rücktrocknung bei Raumtemperatur. Links: Probe 1 – teilweise eingetaucht. Rechts: Probe 2 – vollständig eingetaucht)

### Schilfhäcksel

Bei Schilfhäcksel wurde eine Gewichtszunahme von rund 75 % festgestellt. Durch das aufgebrochene Rohr und die daraus resultierende größere Oberfläche erhöht sich die Wasseraufnahme wesentlich im Vergleich zu ganzen Schilfrohren. Sieht man sich jedoch die Gewichtszunahme eines ETZ-zertifizierten Dämmstoffs aus losen, ungebundenen Zellulosefasern an, so liegen diese bei rund 413 % bei einer Rohdichte von  $34 \text{ kg/m}^3$  bzw. rund 556 % bei einer Rohdichte von  $50 \text{ kg/m}^3$ .<sup>47</sup> Insofern ist bei Schilfhäcksel eine Gewichtszunahme von rund 75 % bei einer Rohdichte von  $146 \text{ kg/m}^3$  als ein sehr gutes Resultat zu betrachten.



Abbildung 45: Wasseraufnahme Schilfhäcksel

<sup>47</sup> [http://www.austrozell.at/77/Technische\\_Daten.html](http://www.austrozell.at/77/Technische_Daten.html); 11.02.2010.

## Wärmedämmender Leichtputz NHL

Bei wärmedämmendem Leichtputz war eine schnelle Wasseraufnahme in den ersten 30 Minuten zu Beginn des Versuches zu beobachten. Die Gewichtszunahme der Probe betrug 43,59 %. Bei Raumtemperatur wurde eine vollständige Rücktrocknung innerhalb von drei Tagen erreicht.



Abbildung 46: Wasseraufnahme von P.4 (Wärmedämmender Leichtputz). Links: direkt nach dem Eintauchen. Rechts: Wasseraufnahme bis zum oberen Rand

## Kasein

Wegen der hohen Dichte und den geringen Bestandteilen von Schilfhäckseln und Zellulose ergab der Versuch der Wasseraufnahme einen vergleichsweise niedrigen Wert. Die Gewichtszunahme lag nach 24 Stunden bei 20,78 %.

Die Wasseraufnahme erfolgte ausschließlich in dem Bereich des Prototyps, welcher während des Versuches im Wasser eingetaucht gewesen ist.

Durch die vollständig eingetauchte unterste Schicht der Schilfrohre ist es jedoch wie bei der drahtgebundenen Schilfrohrplatte (siehe Kapitel 3.3.2 Wasseraufnahme, Schilfrohre) zu einer Wasseraufnahme über die offenen Rohr-Enden gekommen.

Wegen der geringeren Anzahl an Schilfrohren lag dem entsprechend auch der Wert für die Wasseraufnahme deutlich unter dem für die drahtgebundene Schilfrohrplatte. Bei einer Durchführung des Versuches mit abgeklebten Enden könnte voraussichtlich ebenfalls ein besserer Wert erreicht werden.



Abbildung 47: Wasseraufnahme von P.5 (Kasein). Links: während des Versuches. Rechts: nach dem Versuch auf dem Trocknungsständer im Winkel von 45°

## Stärke

Bei dem Versuch der Wasseraufnahme des Probekörpers P.6 mit Stärke als Bindemittel erhöhte sich das Gewicht um 222,03 %. Dieses erklärt sich vor allem durch die gute

Wasseraufnahmefähigkeit der Zellulose, welche mit 48,38 % den größten Bestandteil des Prototyps darstellt.

Die Wasseraufnahme erfolgte bis zum oberen Rand, so dass die Probe nach 24 Stunden vollständig durchnässt war.



Abbildung 48: Wasseraufnahme von P.6 (Stärke). Links: zu Beginn; rechts: nach 24 Stunden

### 3.3.3. Brandverhalten

Der Versuch zur Bestimmung des Brandverhaltens der Prototypen wurde in Anlehnung an die Norm EN ISO 11925-2 „Bestimmung der Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung“ durchgeführt. Diese Norm gilt für Baustoffe. Mithilfe einer kleinen Flamme, welche direkt auf den vertikal angeordneten Probekörper einwirkt, wird die jeweilige Entzündbarkeit ermittelt. Der Versuch wird ohne eine zusätzliche Wärmeeinstrahlung durchgeführt.

Die Einteilung des Dämmstoffes in die Euroklassen F, E, D, C, B, A2 und A1 erfolgt über die Kriterien zur Klassifizierung von Bauprodukten nach der Norm EN 13502-1. Die Voraussetzung für die Zertifizierung eines Dämmstoffes ist die Einteilung in die Brennbarkeitsklasse E. Zum Erreichen dieser Brennbarkeitsklasse darf es bei einer Beflammungszeit von 15 Sekunden keine vertikale Flammenausbreitung von 150 mm oberhalb des Beflammungspunktes geben. Der Versuch wurde jedoch mit allen Probekörpern über einen Zeitraum von 60 Sekunden durchgeführt, um auch das weitere Verhalten der Flammenausbreitung über die Mindestanforderungen hinaus zu bestimmen.

Nach 15, 30 und 60 Sekunden ergaben sich für die geprüften Probekörper folgende Werte für das Brandverhalten:

Probe	Auftreten einer Entzündung	Maximale vertikale Flammenausbreitung nach		
		15 s [cm]	30 s [cm]	60 s [cm]
Schilfrohre (Draht) quer 1	Ja	12	17	17*
Schilfrohre (Draht) quer 2	Ja	13	17,5	17,5*
Schilfrohre (Draht) quer 3	Ja	9	15,5	15,5*
Schilfrohre (Draht) längs 1	Ja	11,5	13,5	13,5*
Schilfrohre (Draht) längs 2	Ja	6,5	9,5	9,5*
Schilfrohre (Draht) längs 3	Ja	8	11,5	11,5*
Lose Schilfrohre quer 1	Ja	10	13,5	13,5*
Lose Schilfrohre quer 2	Ja	11	15	15*
Lose Schilfrohre quer 3	Ja	7	12	12*
Lose Schilfrohre quer 4	Ja	7	12	12*
Lose Schilfrohre längs 1	Ja	13	18	20*
Lose Schilfrohre längs 2	Ja	8	13	20**
Schilfhäcksel 1	Ja	11	11*	11*
Schilfhäcksel 2	Ja	9	9*	9*
Stärke 1	Nein	5	8,5	8,5*
Stärke 2	Nein	5,5	9	10
Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte 1	Ja	8	12	16***
Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte 2	Ja	5	12	19***

\* Keine Flamme vorhanden außer am Kontaktpunkt

\*\* Zwei kleine Flammen vorhanden: am Kontaktpunkt u. am obersten Punkt der Flammenausbreitung

\*\*\*vertikale Flammenausbreitung noch nicht abgeschlossen

Tabelle 14: Brandverhalten von Schilfhäcksel und losem Schilfrohr

### Drahtgebundene Schilfrohrplatte

Bei den Probekörpern der drahtgebundenen Schilfrohrplatten war sowohl bei den längs als auch bei den quer ausgerichteten Mustern dasselbe Flammenausbreitungsverhalten zu beobachten. In allen Fällen fand eine Entzündung am Kontaktpunkt mit einer anschließenden Flammenausbreitung statt. Die Werte der maximalen vertikalen Flammenausbreitung oberhalb des Beflammungspunktes wurden deshalb jedesmal bereits innerhalb von 30 Sekunden erreicht. Im weiteren Verlauf des Versuches war aber deutlich zu sehen, dass es nicht zu einem Brennen der Schilfrohre, sondern nur zu einem Abbrand der Schilfblätter kam. Anschließend war nur die Flamme des Brenners auszumachen und nach Beendigung der Beflammung lediglich ein Nachglühen am Kontaktpunkt.





Abbildung 49: Brandverhalten der drahtgebundenen Schilfrohrplatte. Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s

### Lose Schilfrohre

Zur Bestimmung des Brandverhaltens von losen Schilfrohren wurden vier Proben quer und zwei Proben längs in die Versuchsvorrichtung eingebracht (siehe Abbildung 50) und beflammt. Bei allen Proben der losen Schilfrohre kam es zu einer Entzündung am Beflammungspunkt und zu einem Abbrand der Schilfblätter. Die maximale vertikale Flammenausbreitung wurde bei den quer eingebrachten Schilfrohren in weniger als 30 Sekunden erreicht. Im weiteren Verlauf des Versuches war bei den vier Proben lediglich eine durch den Brenner verursachte Flamme am Kontaktpunkt zu beobachten. Bei den längs eingebrachten Schilfrohren hingegen wurde die maximale vertikale Flammenausbreitung erst nach einer Beflammungszeit von mehr als 30 Sekunden erreicht.

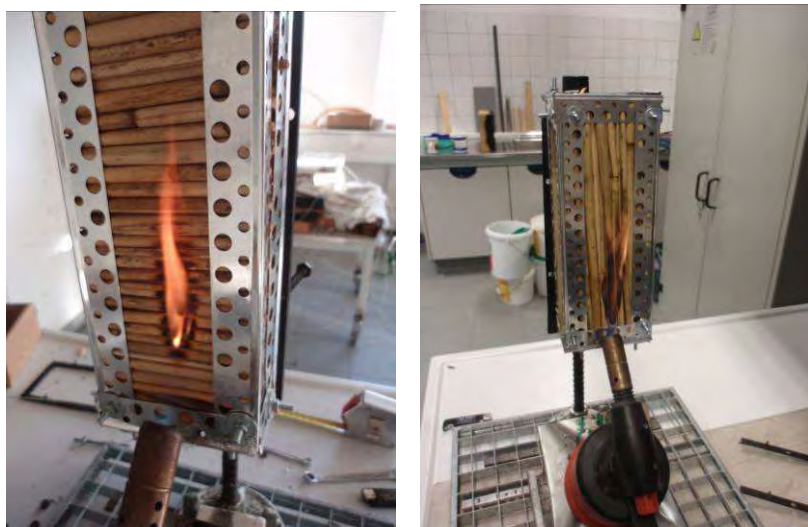


Abbildung 50: Brandverhalten von losen Schilfrohren. Links: Schilfrohre lose quer nach 15 s. Rechts: Schilfrohre lose längs nach 15 s

### Schilfhäcksel

Die Bestimmung des Brandverhaltens der Schilfhäcksel wurde mit einem Muster mit einer Dichte von  $150 \text{ kg/m}^3$  durchgeführt. Bei diesem Probekörper wurde der Punkt der maximalen vertikalen Flammenausbreitung von 11 cm innerhalb von 15 Sekunden erreicht. Es kam zu

keinem Abbrand der Schilfblätter, sondern lediglich zu einem sehr schnellen Abbrennen der abstehenden Schilfhäckselspitzen. Im weiteren Verlauf des Versuches war nur die Flamme des Brenners am Beflammungspunkt und nach Beendigung des Versuches nicht einmal ein Nachglühen zu beobachten.

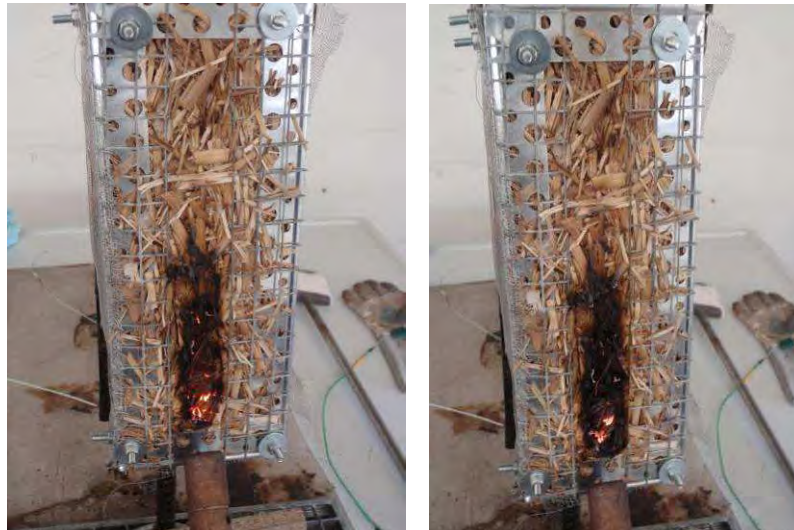


Abbildung 51: Brandverhalten von Schilfhäcksel .Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s

### **Stärke**

Bei den Versuchen mit Stärke als Bindemittel und Zellulose als Füllstoff kam es aufgrund der Boraxbeimischung in der Zellulose zu keiner Entzündung der Probekörper. Lediglich am Beflammungspunkt und oberhalb von diesem verkohlte die Probe durch die Flamme des Brenners.

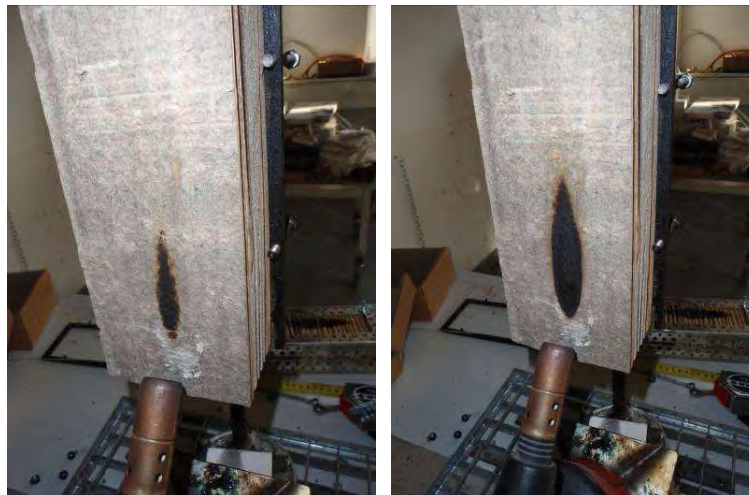


Abbildung 52: Schilf-Stärke-Prototyp. Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s

### **Aufgeschäumter Thermoplast**

Bei den Mustern mit aufgeschäumtem Thermoplast als Bindemittel fand eine Entzündung statt. Die Brennbarkeitsklasse E konnte erreicht werden, da keine vertikale Flammenausbreitung innerhalb von 15 Sekunden oberhalb des Beflammungspunktes zu beobachten war. Im weiteren Verlauf des Versuches über die 15 Sekunden der Mindestforderung hinaus zeigte sich jedoch, dass es z. B. im Vergleich zur drahtgebundenen

Schilfrohrplatte nicht nur zu einer kurzfristigen Flammenausbreitung durch den Abbrand der Schilfblätter kam, sondern zu einer konstant ansteigenden Ausbreitung der Flammen durch ein Brennen der ganzen Schilfrohre. Dadurch, dass die Schilfrohre nicht wie bei anderen Prototypen relativ dicht zusammengepresst sind, sondern stellenweise durch eine Verbundsschicht von aufgeschäumtem Heißkleber umgeben sind, besteht eine bessere Sauerstoffzufuhr zwischen den Halmen, wodurch die Flammenausbreitung begünstigt wird. Bei der weiteren Beflammung war ebenfalls zu beobachten, dass durch die hohe Temperatur ein Schmelzen des Bindemittels unter leichter Rauchentwicklung verursacht wurde und sich damit auch die Klebeverbindung löste. Zum Erreichen der Brennbarkeitsklasse E sind aber keine weiteren Versuche zu Rauchentwicklung, brennendem Abtropfen und/oder Abfallen notwendig.



Abbildung 53: Brandverhalten von Schilfrohren mit aufgeschäumtem Thermoplast als Bindemittel.  
Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s

#### 3.3.4. Vergleich der Dämmstoffvarianten nach Materialkennwerten

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse der Messungen zu Wärmeleitfähigkeit, Wasseraufnahme, Brandverhalten und Schimmelbildung verschiedener Plattenprototypen sowie von losem Schilf und der drahtgebundenen Platte einander gegenübergestellt.

Proto- typ	Bindemittel	$\lambda$ Ecolabor [W/mK]	$\lambda$ Heizkasten [W/mK]	Gewichts- zunahme bei Wasserauf- nahme [24 h, tw, in %]	Brand- verhalten [Brenn- barkeits- klasse]
P.1	Gummi Arabicum	-	-	-	-
P.2	Fliesen- und Plattenkleber	-	-	-	-
P.3	NHL-Kalkputz	-	-	-	-
P.4	Wärmedämmen- der Leichtputz NHL	-	-	43,59	-
P.5	Kasein	-	-	20,78	-
P.6	Stärke	-	0,050	222,03	E
P.7	Stabilizer®	-	-	-	-
P.8	Roggenleim	-	-	-	-
P.9	Tannin	-	-	-	-
P.10	PLA	-	-	-	-
P.11	Holzleim	-	-	-	-
P.12	Heißkleber	-	-	-	-
P.13	PU-Schaum	-	0,049	-	-
P.14	Aufgeschäumter Thermoplast	-	0,058	-	E
	Lose Schilfrohre	0,0502	-	-*	E
	Schilfhäcksel	0,0420	-	72,45**	E
	Drahtgebundene Schilfrohrplatte	0,0513	0,053	20,24***	E

Tabelle 15: Vergleich der Schilfdämmvarianten nach Materialkennwerten

\* Die Werte für die Wasseraufnahme von losen Schilfrohren entsprechen jenen der drahtgebundenen Schilfrohrplatte

\*\* Mittelwert

\*\*\* Mittelwert der Proben mit den geschlossenen Schilfrohren

Beim Kriterium der Wärmeleitfähigkeit schnitt Schilfhäcksel im Vergleich zu losen Rohren und Schilfplatten mit einem Lambda-Wert von 0,042 W/mK am besten ab.

Die Gewichtszunahme infolge von Wasseraufnahme war bei losen Schilfrohren, deren Enden abgeklebt wurden, am niedrigsten, was sich vor allem aus der hohen natürlichen Wasserresistenz von Schilfrohr erklärt, sofern die Oberfläche nicht aufgebrochen wird.

Die Untersuchung des Brandverhaltens zeigte, dass für alle untersuchten Muster eine Einteilung in die geforderte Brennbarkeitsklasse E möglich ist. Abhängig von der Dichte, dem Zustand des Schilfs sowie den Eigenschaften der vorhandenen Bindemittel und Füllstoffe waren jedoch deutliche Unterschiede beim Brandverhalten der Probekörper auszumachen. So kam es z. B. beim Stärke-Zellulose-Muster durch die Zusatzstoffe in der Zellulose zu keiner Entzündung und bei Schilfhäcksel wegen der hohen Dichte von 150 kg/m<sup>3</sup> nur zu einem kurzzeitigen Oberflächenbrand.

Eine Einteilung in die nächstbessere Brennbarkeitsklasse D sollte nach den bisherigen Beobachtungen über den Versuchszeitraum der 15 Sekunden hinaus theoretisch auch möglich sein. Für genaue Aussagen zu dieser Klasse sind jedoch andere Prüfeinrichtungen gefordert.

Aufgrund der sehr guten Eigenschaften, v. a. in Bezug auf Wärmeleitfähigkeit und Brandverhalten, und der einfachen Herstellung wurde das Zwischenprodukt Schilfhäcksel in die Entwicklung des Verbundsystems miteinbezogen. Besonders für die Zielerreichung NEH-Standard in diesem Projekt stellen sie eine ökonomische Alternative dar: Zur Erzeugung von Schilfhäcksel kann auch krummhalmiges Schilf verwendet werden, dessen Anteil relativ hoch ist, wie in Kapitel 2.2.1 bereits erwähnt wurde. Dadurch kann die gesamte Ernte genutzt werden und eine höhere Wertschöpfung erzielt werden.

### 3.4. Auswahl von Schilf-Dämmstoffvarianten für ein WDVS

Ein Vergleich der mit Bindemittel hergestellten Schilfplatten ergab als besten Prototyp in Bezug auf Herstellungsaufwand und Bearbeitbarkeit die thermoplastgebundene Platte. Diese kann leicht und mit wenig Bindemittel maschinell hergestellt werden, wobei auch Dämmstärken von 10 cm problemlos möglich sind (eine weitere Erhöhung der Dämmstärke ist auch möglich, wurde jedoch noch nicht durchgeführt).

Die Versuche zur Ermittlung von Materialkennwerten zeigten außerdem, dass loses Schilf, vor allem Schilfhäcksel, sehr gute Kennwerte in Bezug auf Wärmeleitfähigkeit aufweist und auch beim Brandverhalten gut abschneidet.

Aufgrund dieser beiden Vergleiche können damit zwei Dämmstoffvarianten ausgewählt werden: für die Anwendung in Plattenform die **thermoplastgebundene Schilfrohrplatte** und in loser Form **Schilfhäcksel**.

Bei der Auswahl eines Dämmstoffs stellt sich aber nicht nur die Frage nach Materialeigenschaften und Herstellungsaufwand, sondern auch die Frage, inwiefern sich der Dämmstoff für die Einbringung in einem Wärmedämm-Verbundsystem eignet. Bereits eingangs wurden die verschiedenen Befestigungsvarianten von WDVS dargestellt (vgl. Kap. 2.1): Es bestehen die Möglichkeiten, ein WDVS zu *verkleben*, zu *verdübeln* oder mithilfe einer *Holzkonstruktion* zu befestigen. Je nach gewählter Befestigungsvariante können sich die verschiedenen Schilf-Dämmstoffvarianten unterschiedlich gut eignen.

Die alleinige Verklebung von Schilfrohrplatten ist bereits durch das zu erwartende Eigengewicht nicht geeignet. Die derzeitigen drahtgebundenen Schilfrohrplatten werden daher üblicherweise verdübelt. Dieselbe Möglichkeit besteht auch für die thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten. Loses Schilf kann hingegen nicht verdübelt werden, sondern benötigt eine Holzkonstruktion, in die es eingebracht wird (als Alternative wäre auch die Einbringung als Kerndämmung zwischen zwei Wände möglich). Die Einbringung in eine Holzkonstruktion ist prinzipiell auch für Schilfrohrplatten möglich.

Auf Basis dieser grundsätzlichen Eignungen (**Verdübelung für thermoplastgebundene Schilfrohrplatten, Holzkonstruktion für loses Schilf**) wurden die Gesamtsysteme (Wärmedämm-Verbundsysteme für die Außendämmung) entwickelt (siehe Kap. 4).

### 3.5. Weiterentwicklungspotenzial der Dämmstoffentwicklung

#### Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte

- 1) Zur Verbesserung der bisher hergestellten Prototypen mit Thermoplast sollte überprüft werden, ob auf die Schnürung der verwendeten Schilfrohrmatten verzichtet werden kann. Ansonsten könnte die Polyamidschnur durch Schnüre auf Basis von Naturfasern oder biologisch abbaubaren Kunststoffen ersetzt werden.
- 2) Auch der momentan verwendete Thermoplast könnte durch biologisch abbaubare Kunststoffe, wie z. B. Polylactide (PLA), ersetzt werden. Erste Vorversuche (siehe Muster P.10 mit PLA) zeigten bereits Möglichkeiten dieser Bio-Kunststoffe.<sup>48</sup>
- 3) Um eine gleichmäßige Plattenstärke zu gewährleisten, muss außerdem Schilf verwendet werden, das ähnliche Rohrdurchmesser aufweist, um bereits im ersten Schritt gleichmäßige Matten herzustellen. Hier ist eine Vorsortierung vorzunehmen.
- 4) Eine dichtere Verpressung der Matten (höhere Dichten) zur Verringerung der Lufträume zwischen den Halmen ist notwendig. Dadurch könnte die Brandbeständigkeit gesteigert und auch die Dämmeigenschaften verbessert werden.
- 5) Noch höhere Plattenstärken sollen hergestellt werden, um auch die Dämmstärke zu erhöhen und damit den Mindestwärmeschutz ( $0,035 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) mit nur einer Dämmschicht (ca. 13cm) zu erreichen.
- 6) Die Anlagenkonzeption für die Herstellung der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten kann noch weiter verbessert werden (Auftragung des Klebeschaums, Automatisierung von Schilfmattenzuführung und Zuschnitt etc.).

#### Schilfhäcksel

- 1) Schilfhäcksel kann als Dämmstoff in Hohlräume eingebracht werden. Zur optimalen Verteilung des Schilfhäcksel sind die dafür notwendigen Schilfspangrößen, die dazu notwendigen Aufschließungstechniken und geeignete Einbringungsverfahren weiter zu untersuchen.
- 2) Untersuchungen zum Setzungsverhalten der Schilfhäcksel.
- 3) Zur Verringerung der Staubentwicklung bei der Einbringung sollen Methoden für die Entstaubung des Schilfhäcksel gefunden werden.

---

<sup>48</sup> Vgl. auch Wimmer et al. 2007.

## 4. Außendämmung – Entwicklung eines Wärmedämm-Verbundsystems

### 4.1. Entwicklungslinie und angewandte Methodik

Bereits zu Beginn (Kap. 2.1) wurde der Aufbau von Wärmedämm-Verbundsystemen dargestellt: Dämmstoff, Befestigung und Beschichtung sind die wesentlichen Komponenten eines solchen Systems. Als Dämmstoff kommen aufgrund der vorhergehenden Projektschritte Thermoplast-gebundene Schilfrohrplatten und loses Schilf in Betracht. Dafür gibt es prinzipiell zwei Befestigungsmöglichkeiten: Die Schilfrohrplatten können verdübelt werden, loses Schilf kann in eine Holzkonstruktion eingebracht werden. Im nächsten Schritt sollen daher diese beiden Konstruktionstypen weiterentwickelt werden.

Zunächst erfolgte eine Analyse von derzeit angewandten Systemen, welche nach folgenden Kriterien bewertet worden sind:

- U-Wert
- Bauphysik
- Verarbeitung
- Ökologische Eigenschaften
- Materialverbrauch
- Arbeitsaufwand

Für die Ermittlung des hygrothermischen Verhaltens der Wandaufbauten wurde das Österreichische Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO) beauftragt. Dabei wurde das Programmpaket WUFI („Wärme und Feuchte instationär“) verwendet. Mit diesem Programm lassen sich Wärme- und Feuchtetransport in mehrschichtigen Konstruktionen unter realitätsnahen Klimabedingungen simulieren. Die Simulationen wurden jeweils für zwei Jahre berechnet. Dieser Zeitraum ist notwendig, um auch das Verhalten der Wandaufbauten in einem stabilisierten Zustand zu erfassen. In den Berechnungen wurden nicht nur die Dämmschichten selbst, sondern auch die Grenzschichten (z. B. zwischen Dämmung und Schalung) berücksichtigt. Der gesamte Bericht des IBO befindet sich im Anhang.

Ausgehend vom Bewertungsprofil wurden Lösungsansätze für die Weiterentwicklung der beiden Konstruktionstypen (Verdübelung und Holzkonstruktion) formuliert, anhand von Musterwänden in die Praxis umgesetzt und mithilfe von praktischen Tests und bauphysikalischen Berechnungen überprüft.

Eine zusätzliche Möglichkeit der Anwendung von Schilf ergibt sich im lasttragenden Strohballenbau, wo Schilf als Dämmstoff zwar nicht mehr notwendig ist, um die (ohnehin schon sehr gute) Dämmwirkung zu erhöhen, die Schilfrohrplatten aber sehr gut als Putzträgerplatten verwendet werden können. Auf allen entwickelten Systemen kann prinzipiell dieselbe Abschlussbeschichtung angebracht werden. Verschiedene Putzvarianten wurden anhand von Musterflächen und mithilfe von Messungen auf ihre qualitativen, feuchtigkeitsspezifischen und thermischen Eigenschaften hin untersucht, bewertet und je

nach Anwendungsfall ausgewählt. Für die verschiedenen Konstruktionssysteme wurden außerdem technische Detaillösungen für die Bereiche Kantenschutz und Armierung sowie Sockel und Giebel erarbeitet.

Damit können am Ende dieser Projektphase fünf Entwicklungsergebnisse präsentiert werden:

1. Optimierung des Konstruktionstyps 1 (Verdübelung von Schilfrohrplatten) – Kap. 4.2
2. Optimierung des Konstruktionstyps 2 (Holzkonstruktion mit losem Schilf) – Kap. 4.3
3. Verwendung von Schilf im lasttragenden Strohballenbau – Kap. 4.4
4. Optimierung der Beschichtungslösung – Kap. 4.5
5. Entwicklung von technischen Detaillösungen – Kap. 4.6

## **4.2. Konstruktionstyp 1 – Verdübelung von Schilfrohrplatten**

Derzeit erfolgt die Verdübelung von (drahtgebundenen) Schilfrohrplatten als Wärmedämmung folgendermaßen: Zwei Lagen Schilfrohrplatten von je 200 x 125 cm und 5 cm Stärke werden kreuzweise übereinander gedübelt, die untere Schicht wird in einem Mörtelbett verklebt, um eine Hinterlüftung zu vermeiden. Die Anzahl der notwendigen Dübel wird auf Basis von Berechnungen der Windsoglasten und abhängig vom verwendeten Dämmstoff und der Höhe des Gebäudes ermittelt. Für Schilfrohrplatten werden grundsätzlich sechs Dübel pro m<sup>2</sup> benötigt. Werden mehrere Dämmstoffplatten übereinander montiert, ist jede Schicht einzeln zu verdübeln.

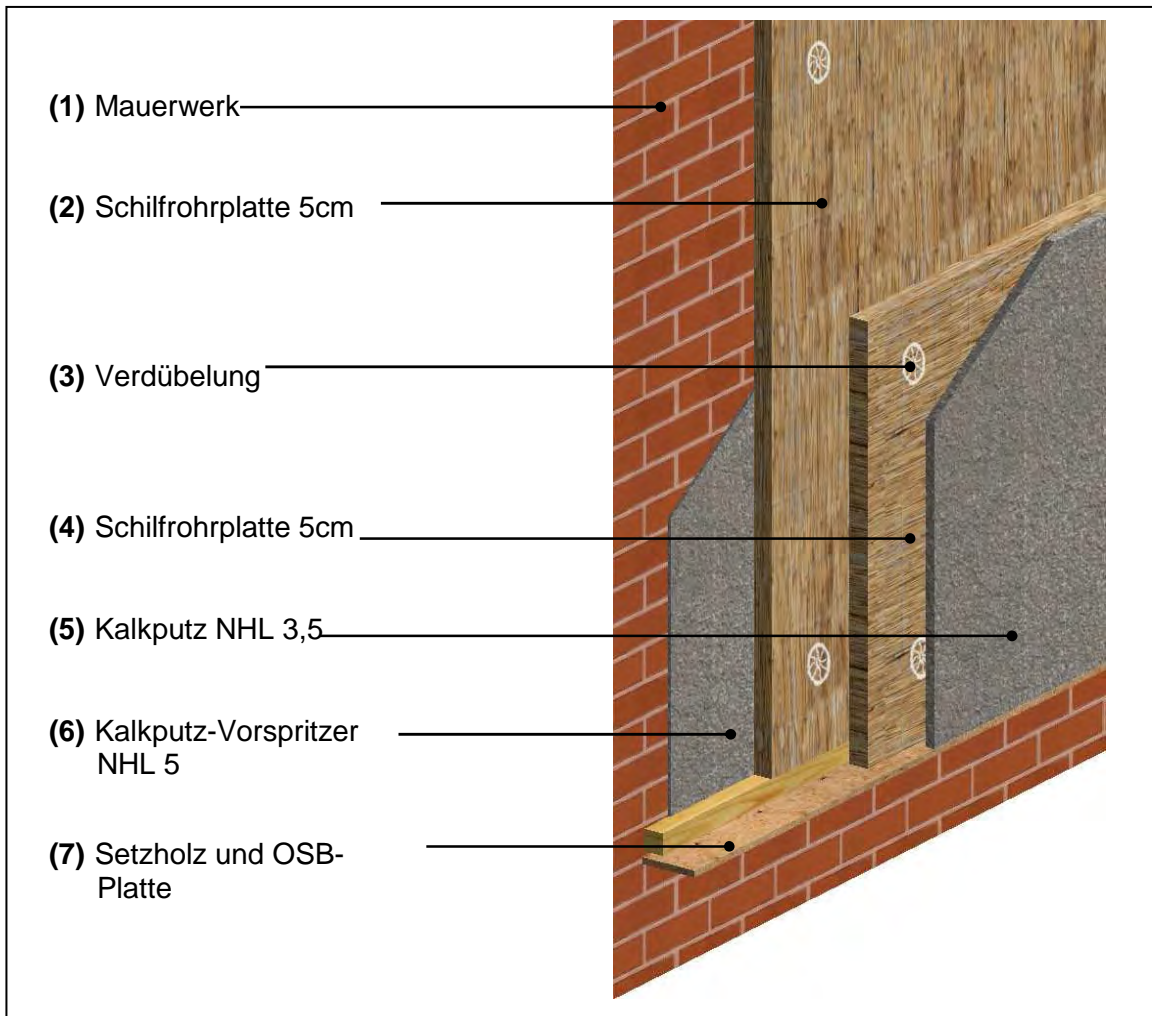
Die Montage der Platten erfolgt von unten nach oben. Der Auftrag der Abschlussbeschichtung erfolgt direkt auf die Schilfrohrplatten (gegebenenfalls mit einem zusätzlichen Putzgitter).

Auf der nächsten Seite wird der Systemaufbau dieses Konstruktionstyps, wie er derzeit üblicherweise ausgeführt wird, dargestellt.



## Konstruktionstyp 1 – Ist-Stand

### Zweilagige Verdübelung von drahtgebundenen Schilfrohrplatten



#### Detailbeschreibung des Schichtaufbaus:

##### **(1) Mauerwerk:**

Bestand, Tragfähigkeit ist zu überprüfen (Dübelauszugsfestigkeit), Putzschicht kann bei diffusionsoffenen Varianten erhalten bleiben

##### **(2) Drahtgebundene Schilfrohrplatte 5 cm (verdübelt):**

Format 125 x 200 cm, Rohdichte ca. 165 kg/m<sup>3</sup>, Wärmeleitfähigkeit 0,055 W/(m\*K)

##### **(3) Verdübelung:**

Mauerwerksdübel (Schraube mind. 8/15) mit Dübelteller (ø 7–10 cm)

##### **(4) Drahtgebundene Schilfrohrplatte 5 cm (verdübelt):**

Format 125 x 200 cm, Rohdichte ca. 165 kg/m<sup>3</sup>, Wärmeleitfähigkeit 0,055 W/(m\*K)

##### **(5) Kalkputz NHL 3,5:**

Schichtstärke 3 cm, 3-Schicht-Aufbau

##### **(6) Kalkputz-Vorspritzer NHL 5:**

ohne Sand

##### **(7) Setzholz und Sockelprofileiste:**

Kanholz mind. 5 x 5 cm (verdübelt), OSB-Platte 2 cm Stärke

Abbildung 54: Systemaufbau Konstruktionstyp 1 – Ist-Stand

Diese Variante wird derzeit vor allem für die nachträgliche Dämmung von Altbauten eingesetzt. Beispielgebäude, die nach dieser Variante gedämmt wurden, sind in Abbildung 55 und Abbildung 56 zu sehen.



Abbildung 55: Zweilagig verdübelte Schilfrohrplatten, 5 cm, in Mörtelbett



Abbildung 56: Zweilagig verdübelte Schilfrohrplatten, 5cm, und Thermoputz<sup>49</sup>

## Bauphysikalische Berechnungen

Zur Ermittlung der hygrothermischen Eigenschaften dieser Wandkonstruktion wurden folgende Simulationen durchgeführt:

Bauphysikalische Berechnungen für Konstruktionstyp 1 (Ist-Stand)
Variante 1: Schilfdämmung und Ziegelwand
Variante 1.1: Schilfdämmung und Betonwand
Variante 2: Schilfdämmung und Ziegelwand Anschlussdetail Sockellattung (diese Variante wird in Kapitel 4.6.3 behandelt)
Variante 3: Aufbau Variante 1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (= Worst Case)
Variante 3: Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell

Tabelle 16: Durchgeführte bauphysikalische Berechnungen für Konstruktionstyp 1 (Ist-Stand)

Folgende Schlussfolgerungen können aus den Berechnungen gezogen werden: Mit einer Betonwand als Bestand werden im Gegensatz zu einer Variante aus massiv ausgeführtem Ziegelmauerwerk in der Simulation höhere Feuchten erreicht, was sich mit einer länger

<sup>49</sup> Quelle: Häuser in Wolle.

andauernden Austrocknungszeit sowie einem generell höheren Feuchtwert aufgrund der Herstellungsweise (Nassverfahren) dieser Unterkonstruktion erklären lässt.

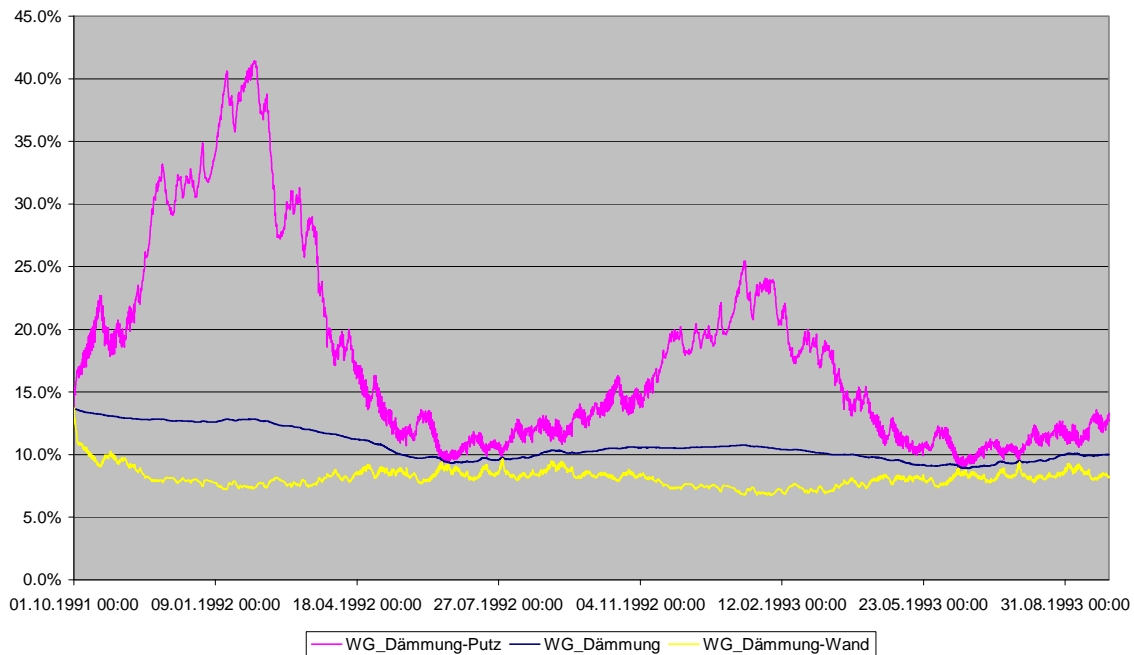


Abbildung 57:: Aufbau Variante 3 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (= Worst Case)

Die Änderung der Ausrichtung nach Norden sowie die Berücksichtigung des Saugeffekts des Baustoffs hat ebenfalls eine geringe Erhöhung der Feuchte in den Bauteilen zur Folge und wurde, als schlechteste mögliche Variante, auf Schimmelpilzauskeimung untersucht. Die höchsten Feuchten werden in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Putz erreicht (in der ersten Abschätzung werden hohe Werte für den Feuchtegehalt erreicht).

Eine detaillierte Untersuchung der Grenzschicht hat gezeigt, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von 80–95% einstellt. Die Analyse mittels Isoplethensystem zeigt, dass die hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen Perioden überschritten werden. Eine Analyse der Überschreitungzeiten zeigt jedoch, dass keine Schimmelbildung in der untersuchten Schicht auftritt.

Anmerkung: Eine luftdichte Ausführung des Wandaufbaus ist unbedingt zu gewährleisten, um eine Verschlechterung des Wärmedämmverhaltens und die Möglichkeit von Kondensatbildung zu verhindern.

### Bewertungsprofil Konstruktionstyp 1 (Ist-Stand)

In Tabelle 17 werden der derzeitige Entwicklungsstand von Konstruktionstyp 1 bewertet und Lösungsansätze für die Optimierung des Systems angeführt.

Zweilagige Verdübelung von drahtgebundenen Schilfrohrplatten		
	Qualitative Bewertung	Lösungsansätze für Optimierung
<b>Bauphysik</b>	+ Diffusionsoffener Aufbau - Wärmebrücken (unregelmäßige Kanten, Dübelverbindungen) - evtl. Kondensatbildung zwischen zwei Lagen	Stärkere Platten (→ einlagige Dämmschicht); höhere Kantengenauigkeit bzw. Stufenfalz
<b>Verarbeitung</b>	- Zuschnitt durch Drahtbindung erschwert	Thermoplastgebundene Schilfrohrplatten als Alternative
<b>Ökologische Eigenschaften</b>	+ Thermische Verwertung und Kompostierung möglich - Draht muss aus der Platte entfernt werden	Verwendung von kompostierbaren Biopolymeren
<b>Materialverbrauch</b>	- Hohe Anzahl an benötigten Dübeln: pro Schicht 5–6 Stück/m <sup>2</sup>	Stärkere Platten > 5 cm (→ einlagige Dämmschicht)
<b>Arbeitsaufwand</b>	- Zuschnitt zeitaufwändig - Hoher Anbringungsaufwand bei Dämmstärken > 5 cm	Thermoplastgebundene Schilfrohrplatten als Alternative

Tabelle 17: Bewertungsprofil und Lösungsansätze Konstruktionstyp 1

Die größten Probleme treten hinsichtlich der Bearbeitung und der bauphysikalischen Eigenschaften der drahtgebundenen Schilfrohrplatte auf. Vor allem höhere Stärken der Dämmplatten wären von essentieller Bedeutung, da dadurch weniger Schichten angebracht werden müssen. Die maximale Plattenstärke bei der drahtgebundenen Schilfrohrplatte ist auf 5 cm begrenzt.

Die Bindungsart der drahtgebundenen Platte entspricht Bündeln, die mithilfe mehrerer Drähte in einer nahezu rechteckigen Form gehalten werden sollen. Dadurch erhält die Platte einerseits eine hohe Flexibilität (siehe Abbildung 58) und kann sich unebenen Untergründen sehr gut anpassen, andererseits werden Zuschnitt und Anbringung erschwert, und es entstehen Wärmebrücken.



Abbildung 58: Flexibilität der drahtgebundenen Schilfrohrplatte

In Abbildung 59 sieht man Wärmebrücken, die entstehen, wenn zwei Breitseiten aufeinanderstoßen. Diese Wärmebrücken müssen in einem eigenen Arbeitsgang behoben werden. Die rechte Abbildung zeigt die Fixierung der drahtgebundenen Schilfrohrplatte an einer Mauer. Die Schilfrohre werden durch den Mauerwerksdübel zur Seite gedrückt, wodurch Zwischenräume entstehen, die wiederum Wärmebrücken bilden.



Abbildung 59: Wärmebrücken. Links: Plattenstoß zwischen zwei Breitseiten. Rechts: Dübel in einer Schilfrohrplatte

Um hier Verbesserungen zu erreichen, soll als Alternative die Anwendung der entwickelten 10 cm starken thermoplastgebundenen Platte untersucht werden, die sich bereits in einer ersten qualitativen Bewertung (siehe Kap. 3) als guter Plattenprototyp erwiesen hatte.

#### 4.2.1. Verbesserung der Dämmplatte und der Befestigung

##### Dämmstärke

Mit den thermoplastgebundenen Platten, die doppelt so dick sind wie die maximal 5 cm starken drahtgebundenen Platten, kann dieselbe Dämmstärke mit nur einer Schicht und damit mit deutlich weniger Arbeitsaufwand und weniger Dübeln hergestellt werden. Auch in Bezug auf das Feuchteverhalten ist der Einsatz eine Platte mit 10 cm anstatt der zwei Schilfrohrplatten mit je 5 cm wie in der Ausgangsvariante (Konstruktionstyp 1 – Ist-Stand) als vorteilhaft zu beurteilen. Der mögliche kleine Luftspalt zwischen zwei Platten könnte zu Kondensat führen, dies wird mit einer dickeren Platte ausgeschlossen.

Mit den ersten Prototypen der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatte konnten bereits Stärken von 10 cm erzielt werden (siehe Abbildung 60). Diese Platte weist ein Gewicht von rund 6,5 kg bei Abmessungen von 100 x 50 x 10 cm auf. Die Zugversuche der Klebeverbindung (siehe unten, „Stabilität“) der hergestellten Prototypen zeigen gute Resultate, wodurch auch eine Erweiterung der Plattenstärke überlegt werden kann. Eine Einschränkung ist lediglich das hohe Eigengewicht, wodurch ein entsprechend stabiler Untergrund gegeben sein muss, der ein sicheres Halten der Dübel ermöglicht.



Abbildung 60: Thermoplastgebundene Platte 10 cm

Bereits durch die größere Dämmstärke stellt die thermoplastgebundene Platte eine Verbesserung gegenüber dem bisherigen System dar. Aber auch andere Kriterien wie Stabilität, Bearbeitbarkeit und Kantengenauigkeit sind für die Anbringung von Dämmplatten von Bedeutung.

Bei der neu entwickelten Schilfrohrplatte werden die Schilfrohrhalme nicht mit einem Draht festgehalten, sondern in eine Matrix mit ca. 1 cm Breite eingebettet. Die Abstände der Klebebahnen betragen dabei genau wie bei der drahtgebundenen Schilfrohrplatte 20 cm. In Abbildung 61 wurden die Bindungsmodelle vereinfacht dargestellt. Dabei handelt es sich um einen Schnitt in der Bindungsebene. Der Draht bzw. die Matrix werden jeweils in roter Farbe abgebildet.



Abbildung 61: Bindungsmodelle. Links: Drahtgebundene Schilfrohrplatte; rechts: thermoplastgebundene Schilfrohrplatte

### Bearbeitbarkeit

Die drahtgebundene Platte zeigt gerade im Hinblick auf den Zuschnitt große Probleme, was sich vor allem im Giebelbereich oder bei Fensteranschlüssen zeigt. Die thermoplastgebundenen Platten sind hingegen mit einer Handkreis- oder Kreissäge beliebig zuschneidbar. Die Schnittkanten sind glatt, wodurch bei der Anwendung Wärmebrücken vermieden werden können (siehe Abbildung 62). Die Halme werden bei ihrer Teilung nicht einzeln herausgerissen, da sie weitflächig in der Bindemittelmatrix fixiert sind.

Auch ein diagonaler Zuschnitt ist möglich, wodurch die Anwendung der Platten im Giebelbereich wesentlich vereinfacht wird. Hier ist als eingrenzender Faktor der Abstand der Klebebahnen zu nennen: Beim Zuschnitt der Platte müssen zumindest zwei Klebebahnen erhalten bleiben, um den Zusammenhalt der Schilfrohre zu gewährleisten.



Abbildung 62: Zuschnitt der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatte

Das Bohren durch die Platte führt bei der drahtgebundenen Schilfrohrplatte aufgrund deren Bindungsart zu Problemen. Beim Bohren weichen die Halme aus, wodurch das Bohrloch schwer auffindbar wird.



Abbildung 63: Bohrlöcher in thermoplastgebundener Schilfrohrplatte

Beim thermoplastgebundenen Prototyp kann ein sauberes Bohrloch ausgeführt werden, da alle Halme einzeln in der Klebematrix fixiert sind und damit in ihrer Position bleiben (siehe Abbildung 63).

Durch die hervorragende Bearbeitbarkeit und die höheren Plattenstärken wird das Anpassen an die Gebäudegeometrie vereinfacht und die Anbringungszeit durch den einschichtigen Aufbau wesentlich verkürzt. Dies führt zu einer Einsparung an Arbeitszeit bei der Montage und damit auch zu einer verbesserten Konkurrenzfähigkeit zu bestehenden Dämmsystemen.

### **Kantengenaugigkeit**

Mit einem exakten Zuschnitt ist auch eine höhere Kantengenaugigkeit möglich (siehe Abbildung 64).



Abbildung 64: Kantengenauigkeit zwischen zwei thermoplastgebundenen Platten

Durch die höhere Kantengenauigkeit sind Details wie z. B. Fensteranschlüsse wesentlich einfacher zu lösen (siehe Abbildung 65).



Abbildung 65: Verdübelung thermoplastgebundener Schilfrohrplatten am Anwendungsfall, Detail Fensteranschluss

Auch im Bereich der Plattenstöße und damit für die Vermeidung von Wärmebrücken sind gleichmäßige Kanten ein wichtiges Kriterium. Die thermoplastgebundenen Platten haben hier bereits Vorteile gegenüber der drahtgebundenen Platte; aber es gibt auch eine Möglichkeit, diese Vorteile noch weiter auszuschöpfen, und zwar, indem die Platten mit einer Stufenfalz versehen werden.

### **Stufenfalz**

Dämmplatten, die mit Stufenfalz ausgeführt sind, werden bereits am Markt angeboten,<sup>50</sup> analog zu diesen Systemen kann auch die thermoplastgebundene Platte in dieser Form ausgeführt werden, was durch die höhere Dicke von 10 cm und die präzise Zuschneidbarkeit ermöglicht wird. Die Verlegung von Dämmplatten mit Stufenfalz verringert Wärmebrücken an den Plattenstößen.

<sup>50</sup> Z. B. Holzweichfaserplatten von Doser DHD, vgl. <http://www.doser-dhd.de>.



Stufenfalzplatten können auf zwei Arten angebracht werden: Entweder sie werden direkt am Mauerwerk angedübelt; dabei werden die Platten jeweils mit versetztem Stufenfalz ineinander verlegt und bilden eine vollflächige Dämmschicht. Oder die Platten werden mittels Montageleisten angebracht. Dabei werden Holzleisten horizontal auf dem Untergrund befestigt, die Platten werden mit dem Stufenfalz an diese Leisten angebracht (siehe Abbildung 66). Die zweite Variante eignet sich vor allem für Untergründe mit weniger guten Haftungseigenschaften.



Abbildung 66: Stufenfalzplatten.  
Links: vollflächige Verlegung;  
rechts: Verlegung mit Montageleisten<sup>51</sup>

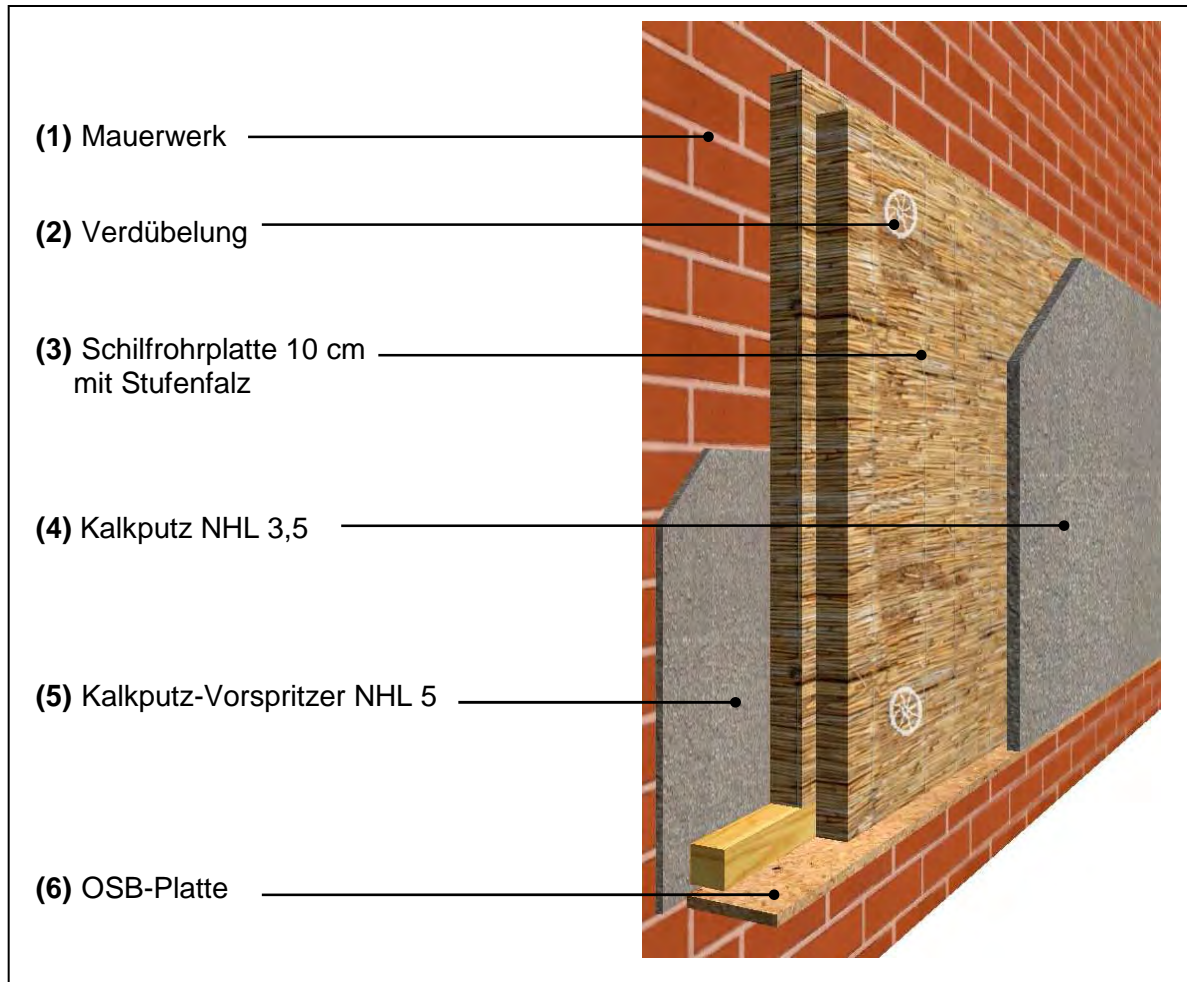
Der Konstruktionstyp 1 – Verdübelung von Schilfrohrplatten – kann daher bereits durch die Verwendung anderer Platten verbessert werden, nämlich indem die drahtgebundenen Schilfrohrplatten (zwei Lagen von je 5 cm) durch thermoplastgebundene Schilfrohrplatten von 10 cm Dicke ersetzt werden, die zusätzlich mit Stufenfalz ausgeführt werden. Der Gesamtaufbau dieses entwickelten Systems ist auf der nächsten Seite dargestellt.

<sup>51</sup> <http://www.doser-dhd.de/img/dhd/DHD%20Prospekt%20Druckversion.pdf>; 25.03.2010; Bearbeitung: GrAT.

#### 4.2.2. Entwicklungsergebnis Konstruktionstyp 1

##### Konstruktionstyp 1 – Entwicklungsergebnis

##### Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte 10 cm mit Stufenfalz / Kalkputz



##### Detailbeschreibung des Schichtaufbaus:

###### **(1) Mauerwerk:**

Bestand, Tragfähigkeit ist zu überprüfen (Dübelauszugsfestigkeit), Putzschicht kann bei diffusionsoffenen Varianten erhalten bleiben

###### **(2) Verdübelung:**

Mauerwerksdübel (Schraube mind. 9/17) mit Dübelteller ( $\varnothing$  7–10 cm)

###### **(3) Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte 10 cm mit Stufenfalz:**

Format 60 x 100 cm, Rohdichte ca. 150 kg / m<sup>3</sup>, Wärmeleitwert ca. 0,050 W/(m\*K)

###### **(4) Kalkputz NHL 3,5:**

Schichtstärke 3 cm, 3-Schicht-Aufbau

###### **(5) Kalkputz-Vorspritzer NHL 5:**

Baustellenmischung mit Sandanteil von 1 zu 3 RT

###### **(6) Sockelprofileiste:**

Setzholz 5x5 cm, OSB-Platte, 2 cm Stärke

Abbildung 67: Konstruktionstyp 1 – Entwicklungsergebnis

## Vergleich Ist-Stand und Entwicklungsergebnis

In Tabelle 18 werden der Ist-Stand und das Entwicklungsergebnis für den Konstruktionstyp 1 zusammengefasst dargestellt.

	<b>Ist-Stand:</b> Zweilagige Verdübelung von drahtgebundenen Schilfplatten 5 cm	<b>Entwicklungsergebnis:</b> Einlagige Verdübelung von thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten 10 cm mit Stufenfalz
<b>U-Wert</b>	0,404 W/m <sup>2</sup> K	0,404 W/m <sup>2</sup> K
<b>Bauphysik</b>	+ Unproblematisch durch diffusionsoffenen Aufbau - Wärmebrücken (unregelmäßige Kanten, Dübelverbindungen) - evtl. Kondensatbildung durch zwei Lagen	+ Wärmebrückenreduktion durch genaue Schnittkanten und präzise Bohrlöcher sowie durch Stufenfalz + Gefahr der Kondensatbildung durch einlagige Dämmschicht vermindert
<b>Verarbeitung</b>	- Zuschnitt durch Drahtbindung erschwert	+ Einfacher Zuschnitt
<b>Ökologische Eigenschaften</b>	+ Thermische Verwertung und Kompostierung möglich - Draht muss aus der Platte entfernt werden	+ Thermische Verwertung möglich - Einsatz eines Biopolymers als Bindemittel sollte noch überprüft werden
<b>Materialverbrauch</b>	- Hohe Anzahl an benötigten Dübeln: pro Schicht 5–6 Stück/m <sup>2</sup>	+ Abnahme der Schichtenanzahl und damit auch Reduktion der benötigten Dübel um den Faktor 2
<b>Arbeitsaufwand</b>	- Zuschnitt zeitaufwendig - Hoher Aufwand bei Dämmstärken > 5 cm	+ Geringer Arbeitsaufwand durch einfachen Zuschnitt und höhere Dämmplattenstärken

Tabelle 18: Konstruktionstyp 1 – Vergleich Ist-Stand und Entwicklungsergebnis

Die wesentlichen Verbesserungen betreffen die einfachere Verarbeitung des Dämmstoffes und die damit erzielbaren höheren Dämmstärken. Dadurch ergibt sich vor allem eine wesentliche Verkürzung des Arbeitsaufwands, wodurch eine ökonomischere Anbringung der Wärmedämmung ermöglicht wird.

Da die entwickelte Konstruktion im Vergleich zum Ist-Stand vom Aufbau her nahezu ident ist, verändern sich die bauphysikalischen Veränderungen nicht wesentlich. In Bezug auf das Feuchteverhalten ist aber die Änderung auf nur eine Platte mit höherer Dämmstärke positiv, da der möglich kleine Luftspalt zwischen zwei Platten zu Kondensat führen könnte.

In einem Anwendungsprofil soll schließlich untersucht werden, für welche Fälle (Sanierung, Neubau mit verschiedenen Unterkonstruktionen) und welche Dämmstandards sich der Konstruktionstyp 1 eignet.

## Anwendungsprofil Konstruktionstyp 1

Um Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhaus-Standard zu erreichen, benötigt man geringe U-Werte. Daher wären zumindest Dämmstärken von 24 cm notwendig, um mit Schilfrohr den NEH-Standard (Außenwand: U-Wert von ca. 0,20 W/m<sup>2</sup>K) einzuhalten. Auch mit den thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten, die bereits 10 cm stark sind, würde diese Dämmstärke einen hohen Arbeitsaufwand und viele Wärmebrücken durch die Dübel bedeuten, da die Platten jeweils schichtweise zu verdübeln sind. Auch die statischen Anforderungen an die Dübel steigen aufgrund des verlängerten Hebelarms der Krafteinleitung. **Für die Variante eines Mindestwärmeschutzes ist der Konstruktionstyp 1 sehr gut geeignet.** In Tabelle 19 wird das Anwendungsprofil mit der Eignung für unterschiedliche Fälle (Neubau mit verschiedenen Unterkonstruktionen, Sanierung) zusammengefasst dargestellt.

Anwendung		Relevante Kriterien	Eignung für		
			PH	NEH	Mindestwärmeschutz
Neubau (Unterkonstruktion)	Stahlbeton	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Geringer Materialverbrauch (Dübel) aufgrund hoher Untergrundfestigkeit</li> <li>* Kurze Bauphase, da Einbaufeuchte des Stahlbetons durch Dämmschichtaufbau abtransportiert werden kann</li> </ul>	weitere Untersuchungen notwendig	weitere Untersuchungen notwendig	Ja
	Mauerwerk	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Materialverbrauch (Dübel) höher als bei Beton durch geringere Untergrundfestigkeit</li> <li>* Kurze Bauphase, da Einbaufeuchte des Mörtels durch Dämmschichtaufbau abtransportiert werden kann</li> </ul>	weitere Untersuchungen notwendig	weitere Untersuchungen notwendig	Ja
	Holzständerbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Anwendung als Putzträger für Dickputze und abschließende Dämmschicht (5 cm).</li> </ul>	Ja	Ja	Ja
Altbau / Sanierung		<ul style="list-style-type: none"> <li>* Unebenmäßigkeiten des Untergrunds können ausgeglichen werden</li> <li>* Diffusionsoffener Aufbau</li> </ul>	weitere Untersuchungen notwendig	weitere Untersuchungen notwendig	Ja

Tabelle 19: Anwendungsprofil Konstruktionstyp 1

Um den Wärmedurchgangskoeffizienten weiter zu senken und eine wirtschaftliche Anbringung zu ermöglichen, könnten als nächster Schritt Folgeversuche durchgeführt und die Stärke der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten auf 24 cm erhöht werden. Die Eignung müsste unter anderem durch empirische Tests überprüft werden.

Eine weitere Möglichkeit, Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhaus-Standard mit Schilf zu erreichen, ist die Verwendung zusätzlicher Holzkonstruktionen. Dadurch können in die Zwischenräume kostengünstigere auf Schilf basierende Dämmstoffe von größerer Dämmstärke eingebracht werden. Diese Möglichkeit wird im Folgenden genauer untersucht.

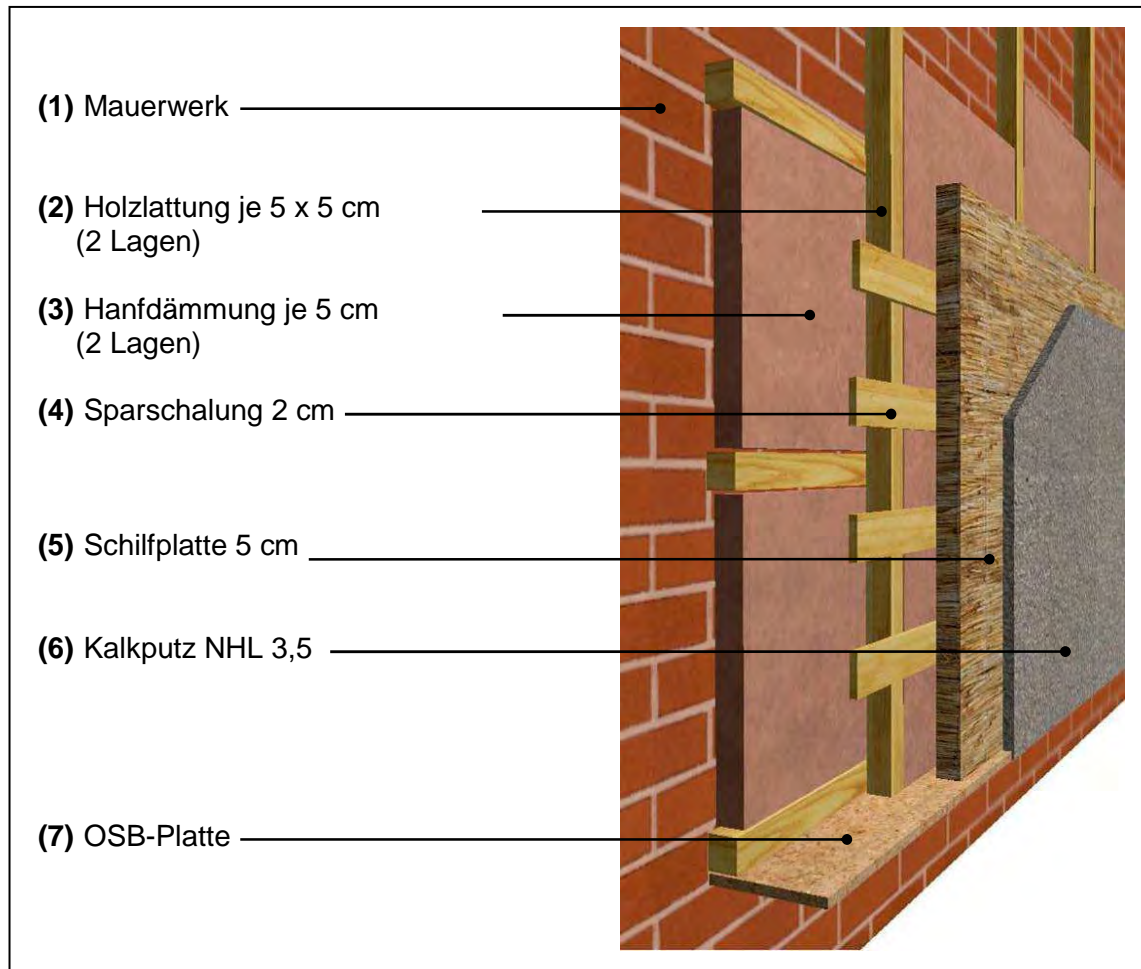
### **4.3. Konstruktionstyp 2 – Holzkonstruktion mit losem Schilf**

Der dokumentierte sowie analysierte Anwendungsfall eines neu errichteten Gebäudes in Oberösterreich diente als Ausgangssystem für diese Variante der Dämmung mit Schilf. Dabei wurden auf die bestehende Unterkonstruktion zunächst zwei Lagen Hanfmatten (je 5 cm Stärke) in eine Holzlattung eingebracht; darauf wiederum wurde eine horizontale Sparschalung und schließlich eine Lage Schilfrohrplatten (5 cm) montiert. Das System wurde mit Kalkputz abgeschlossen.

Die folgende Abbildung veranschaulicht den detaillierten Systemaufbau der dokumentierten Konstruktionsvariante, welcher als Ausgangsbasis für die Entwicklungstätigkeiten Verwendung fand.

## Konstruktionstyp 2 – Ist-Stand

### Holzkonstruktion mit Hanf- und Schilfrohrplatten



#### Detailbeschreibung des Schichtaufbaus:

##### **(1) Mauerwerk:**

Bestand, Tragfähigkeit ist zu überprüfen (Dübelauszugsfestigkeit), Putzschicht kann bei diffusionsoffenen Varianten erhalten bleiben

##### **(2) Holzlattung 5 x 5 cm:**

Abstand (lichte Weite)  $e \sim 0,6$  m, Befestigung der ersten Lage mittels Mauerwerksdübeln (Schrauben ca. 8/10), Befestigung der zweiten Lage auf der ersten Lage (Holzschrauben ca. 6/10)

##### **(3) Hanfdämmung 5 cm:**

z.B. Typ SteicoCanaflex, Rohdichte ca.  $40 \text{ kg/m}^3$ , Wärmeleitfähigkeit  $0,040 \text{ W/(m}^*\text{K)}$

##### **(4) Sparschalung 2 cm:**

versetzte Lattung Format  $2 \times 6$  cm

##### **(5) Drahtgebundene Schilfplatte 5 cm (geklammert):**

Format  $125 \times 200$  cm, Rohdichte ca.  $165 \text{ kg/m}^3$ , Wärmeleitfähigkeit  $0,055 \text{ W/(m}^*\text{K)}$

##### **(6) Kalkputz NHL 3,5:**

Schichtstärke 3 cm, 3-Schicht-Aufbau

##### **(7) Sockelprofileiste:**

Setzholz  $5 \times 5$  cm, OSB-Platte 2 cm

Abbildung 68: Aufbau Konstruktionstyp 2 – Ist-Stand

## Bauphysikalische Berechnungen

In diesem Konstruktionstyp wird im eingeschwungenen Zustand ein Feuchtegehalt von ca. 50 % erreicht. Dieser Gehalt ist auf die geringe Dichte der Hanfdämmung zurückzuführen.

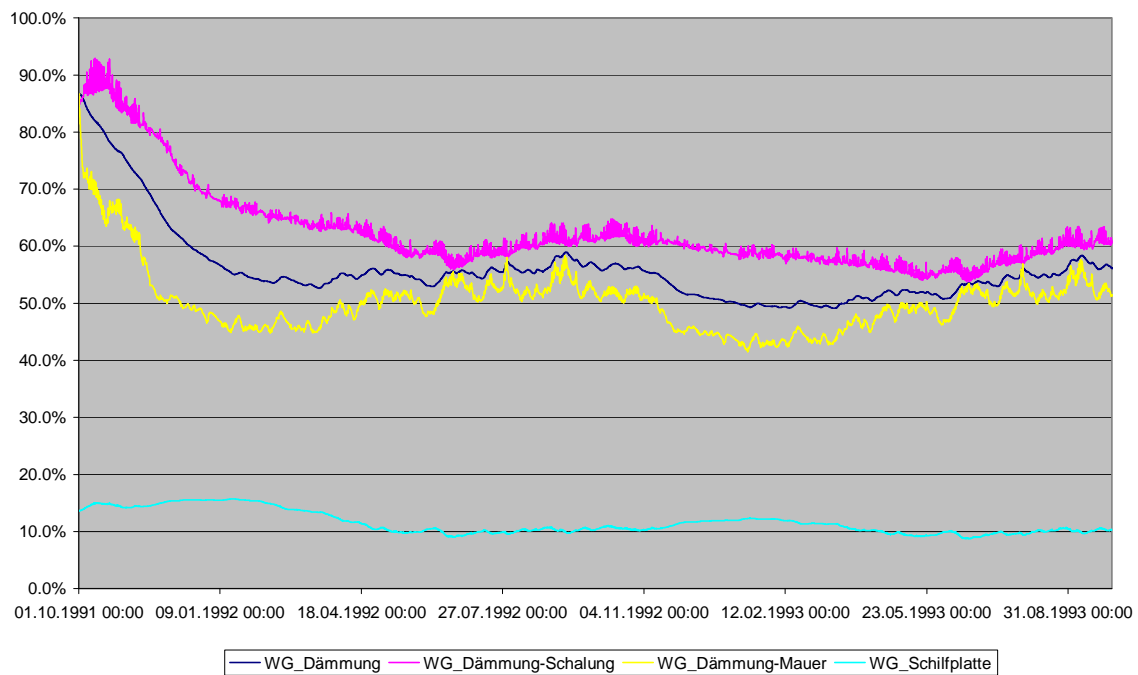


Abbildung 69: Feuchtegehalt in Konstruktionstyp 2 (Ist-Stand)

Da der Mindestzeitraum für die Entstehung von Schimmelpilzsporen nicht überschritten wird, ist in diesem Konstruktionstyp keine Schimmelbildung möglich.

## Bewertungsprofil – Konstruktionstyp 2 (Ist-Stand)

Holzlattung 2 x 5 cm / Hanf-/Flachsfüllung / drahtgebundene Schilfrohrplatte / Kalkputz		
	Qualitative Bewertung	Lösungsansätze für Optimierung
U-Wert	0,259 W/m <sup>2</sup> K	Erhöhung auf NEH-Standard durch höhere Dämmstärken
Bauphysik	- Evtl. Kondensatbildung durch Luftpolster	Verringerung der Wärmebrücken. Kondensationsprobleme vermeiden
Verarbeitung	+ Schilfplatten werden durch Klemmfilze (Hanf, Flachs) ersetzt. Dadurch einfachere Verarbeitung, geringeres Gewicht	Verwendung von leicht einbringbaren Dämmstoffen aus Schilf
Ökologische Eigenschaften	+ Rückbau möglich. +/- Je nach verwendeter Stützfaser/Bindemittel für den Hanf-/Flachsdämmstoff - Angeheftete Platten sind schwerer zu lösen	Rückbau ermöglichen. Zur Fixierung von Schilfrohrplatten lösbare Befestigungsmittel verwenden
Materialverbrauch	- erhöhter Holzeinsatz (2 x Holzlattung und Sparschalung) + Niedrige Dichte des Dämmstoffs (Flachs/Hanf) - Abfälle durch Zuschnitt (Dämmstoff)	Verringerung des Holzeinsatzes
Arbeitsaufwand	+ Dübel werden nur in Holzunterkonstruktion eingebracht + Schilfplatte kann an Holzschalung angeheftet werden - Manuelle Einbringung des Dämmstoffs	Verringerung des Arbeitsaufwandes durch Verwenden von Holz- oder Stegträgern

Tabelle 20: Bewertungsprofil und Lösungsansätze Konstruktionstyp 2

Nachfolgend wird zunächst ein geeignetes Befestigungssystem anstelle der Holzlattung ausgewählt, danach werden verschiedene Schilffüllungen miteinander verglichen, und schließlich wird untersucht, welche Putzträgerplatte als Abschluss zum Einsatz kommen soll. Aus diesen ausgewählten Komponenten entsteht am Ende ein optimiertes Gesamtsystem, das auch NEH-/PH-Standard entspricht.

### 4.3.1. Befestigungssystem

Um Konstruktionstyp 2 (Holzlattung mit Hanf- und Schilfplatten) zu verbessern und Lösungen für NEH-/PH-Standard zu entwickeln, sollte sowohl der Holzverbrauch minimiert werden als auch die Konstruktion hinsichtlich Dämmstärke, Wärmebrücken, Arbeitsaufwand und Rückbaumöglichkeiten verbessert werden. Dafür kam einerseits eine



Holzständerkonstruktion (Vollholz) und andererseits eine Stegrägerkonstruktion in Frage. Als Stegräger wurden zwei verschiedene am Markt angebotene Systeme untersucht: „STEICOWall“ und „Lignotrend U\*psi Typ F“. Die Erfahrung mit diesen Systemen im Sanierungsbereich ist bislang gering bzw. wenig dokumentiert. Die Systeme wurden daher zunächst einer praktischen Untersuchung unterzogen, um ihre Praxistauglichkeit in Kombination mit den entwickelten Schilfdämmstoffen zu testen. Eine Beschreibung und ein Vergleich der insgesamt drei Systeme folgen auf den nächsten Seiten.

### **Holzständerkonstruktion**

Holzständerkonstruktionen werden vorwiegend im Neubau für Gebäude in Leichtbauweise eingesetzt. In einem solchen Anwendungsfall (siehe Abbildung 70) wurden die Holzständer auf einen Sockel gesetzt und mit der erweiterten Dachkonstruktion verbunden. Hier waren optimale Bedingungen für die Befestigung vorhanden. Sollte ein Anschluss an der Dachkonstruktion nicht möglich sein, so sind Metallwinkel als Befestigungsmittel heranzuziehen.



Abbildung 70: Umbau einer ehemaligen Scheune

### **Stegträger STEICOWall**

Die Firma Steico bietet einen Stegräger an, der auch mit Stegdämmung erhältlich ist. Aufgrund der durchgängigen Stegdämmung weist diese Variante einen gleichmäßigen rechteckigen Querschnitt auf (siehe Abbildung 71), wodurch eine wärmebrückenfreie Einbringung von Schilfrohrplatten oder losen Schilfrohren möglich ist (siehe Kapitel 4.3.2).

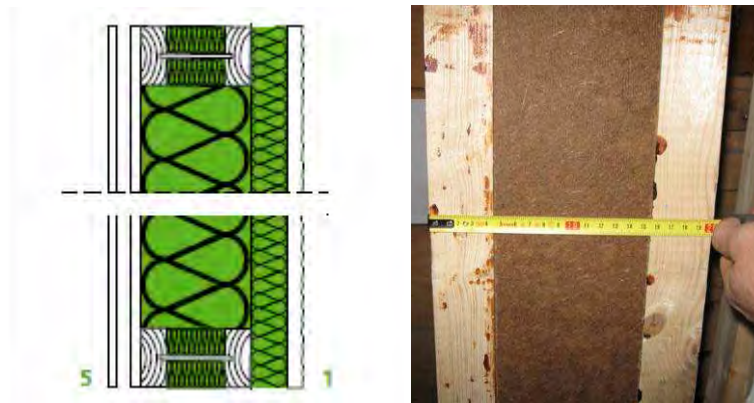


Abbildung 71: Wandaufbau STEICOWall mit Stegdämmung<sup>52</sup>

Allerdings können die Stegträger mit Stegdämmung nicht mit Dübeln direkt am Mauerwerk befestigt werden (dies ist mit den ebenfalls erhältlichen halbierten STEICOWall-Trägern möglich), stattdessen werden Winkel verwendet (siehe Abbildung 72). Die genaue Vorgehensweise der Montage sieht folgendermaßen aus:

- Bohrung auf Dübeltiefe
- Dübel für die Winkel versenken
- Fixieren der Winkel an der Wand
- Fixieren der Winkel am Stegträger



Abbildung 72: Befestigung der Stegträger Steico mittels Winkeleisen

### Stegträger Lignotrend U\*psi Typ F

Die Firma Lignotrend bietet Stegträger an, die leiterartig aufgebaut sind; in den Zwischenräumen zwischen Gurten und Sprossen ist (in der verwendeten Variante) luftdurchlässiges Polyester-/Polyamid-Vlies eingespannt (siehe Abbildung 73). Die Stegträger sind für Einblasdämmstoffe optimiert, Luft beim Einblasen kann leicht in die anderen Kammern entweichen und somit die Staubentwicklung durch Luftaufwirbelungen verringern.

<sup>52</sup> Linke Abbildung:

[http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/German/Technical\\_Guide\\_construction/STEICO\\_tec\\_guide\\_construction\\_de\\_i.pdf](http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/German/Technical_Guide_construction/STEICO_tec_guide_construction_de_i.pdf); 25.01.2010.

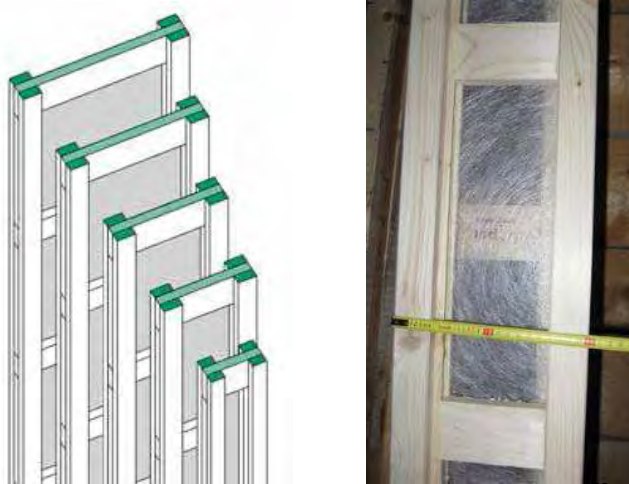


Abbildung 73: Lignotrend-Stegträger U\*psi Typ F<sup>53</sup>

Für die Musterwände wurden Stegträger mit einer Höhe von 20 cm verwendet. Zur Montage werden die hinteren Gurte mit Langschaftdübeln an der Außenwand befestigt. Die Vorgehensweise sieht dabei folgendermaßen aus:

1. Bohren und Dübel versenken
2. Bohren durch den Stegträger
3. Festschrauben der Stegträger an der Wand



Abbildung 74: Anbringen der Stegträger vom Lignotrend U\*Psi F

<sup>53</sup> [http://www.lignotrend.de/holzbau-produkte/Downloads/technische-dokumentationen/TD\\_Upsi\\_Sesi.pdf](http://www.lignotrend.de/holzbau-produkte/Downloads/technische-dokumentationen/TD_Upsi_Sesi.pdf); 25.01.2010.

## Vergleich der Befestigungssysteme

	Holzständer	Stegträger Steico <sup>54</sup>	Stegträger Lignotrend <sup>55</sup>
<b>λ-Wert</b> [W/mK]	0,13	0,073	0,069
<b>Bauphysik</b>	- Wärmebrücken	+ Verringerung Wärmebrücken durch Stegkonstruktion	+ Verringerung Wärmebrücken durch Stegkonstruktion
<b>Verarbeitung</b>	- Winkelverbinder als Fixierung eingesetzt	- Winkelverbinder als Fixierung eingesetzt	+ Träger kann direkt durch Steg fixiert werden
<b>Ökologische Eigenschaften</b>	+ keine Bindemittel - hoher Holzverbrauch - hoher Winkelverbrauch	- feuchteresistentes Bindemittel (keine näheren Herstellerangaben) - hoher Holzverbrauch - hoher Winkelverbrauch	- ca. 0,15 Massenprozent PUR-Kleber + geringer Anteil an Winkeln notwendig. Meistens kann durch den Steg fixiert werden
<b>Materialverbrauch</b> [kg/lfm]	5,00	3,35 <sup>56</sup> – 4,38	2,30
<b>Arbeitsaufwand</b> (bezogen auf Anbringung auf Mauerwerk)	- Manipulation schwierig durch hohes Gewicht	Gewicht geringer als Holzständer, aber höher als Lignotrend-Stegträger; Manipulation unterschiedlich je nach Variante (mit bzw. ohne Stegdämmung)	+ Manipulation einfach + Träger kann direkt durch Steg fixiert werden

Tabelle 21: Vergleich der Befestigungssysteme

Eine Holzständerkonstruktion ist wesentlich schwerer als die untersuchten Stegträger. Auch ein Verziehen der Pfosten im Nachhinein ist möglich. Die hier untersuchten Stegträgersysteme hingegen sind zugelassene Produkte, deren Qualität daher über den gesamten Verwendungszeitraum gesichert ist. Angesichts des geringen Gewichts und der damit einfacheren Montage sind zugelassene Stegträgersysteme eine gute Alternative zu herkömmlichen Holzständerkonstruktionen.

Welche Stegträger sich für ein WDVS besser eignen, hängt unter anderem von dem verwendeten Dämmstoff und der Art der Einbringung ab. Diese Faktoren werden daher nachfolgend genauer untersucht.

<sup>54</sup> Typ: STEICOWall SW 60 / 200, mit Stegdämmung.

<sup>55</sup> Typ: Lignotrend U\*psi, Typ F, F-200/59/40.

<sup>56</sup> Ohne Stegdämmung.

### 4.3.2. Dämmschicht

Stegträgersysteme können prinzipiell verschieden gefüllt werden – mit Dämmplatten oder losem Dämmstoff. Welche der Varianten sich am besten eignet, richtet sich wiederum nach folgenden Kriterien:

- U-Werte
- Wärmebrücken
- Flexibilität
- Ökologische Eigenschaften
- Materialverbrauch
- Arbeitsaufwand

Schilfhäcksel, lose Schilfrohre und drahtgebundene Schilfrohrplatten mit kleinerem Format (60 x 100 cm) wurden als mögliche Dämmvarianten in Stegträgersysteme eingebracht und auf die genannten Kriterien hin untersucht.

#### **Drahtgebundene Schilfplatten Format 60 x 100**

Zunächst wurden vier drahtgebundene Schilfplatten im Format 60 x 100 x 5 cm zwischen zwei Stegträger (STEICOWall SW 60 / 200, mit Stegdämmung) eingebracht. Ziel dieses Versuches war es, durch die Stegträger die Anzahl der sonst notwendigen Dübel für Schilfrohrplatten (5–6 Stück pro Schicht) zu minimieren. Durch die Stegdämmung war es problemlos möglich, die Schilfplatten wärmebrückenfrei einzubringen (siehe Abbildung 75). Dabei ist auf einen genauen Zuschnitt zu achten. Problemstellen sind vorwiegend bei den Winkelverbindungen anzutreffen, die durch die Flexibilität bzw. das Anpassen der Platten kompensiert werden können. Weiters kann es zu Unregelmäßigkeiten durch abweichende Plattenstärken kommen.



Abbildung 75: Einbringen von drahtgebundenen Schilfrohrplatten

#### **Lose Schilfrohre**

Beim zweiten Versuchsaufbau wurden lose Rohre in die Stegträgerkonstruktion eingebracht. Der Arbeitsaufwand war höher als bei dem vorherigen Versuch, da die Halme nur in kleinen Mengen eingebracht und entsprechend ausgerichtet werden mussten (siehe Abbildung 76).



Abbildung 76: Einbringung von losen Schilfrohren

Als Alternative wurden die Rohre in gebündelter Form eingebracht (siehe Abbildung 77). Dabei werden die Schilfrohre bereits im Vorhinein zusammengebunden und können als ganzes Bündel in die Konstruktion eingebracht werden. Das verringert den Arbeitsaufwand erheblich und erleichtert außerdem den Transport der Rohre. Für diese Variante sind auch qualitativ unterschiedliche Schilfrohre verwendbar.



Abbildung 77: Links: Gebündelte Schilfrohre; Rechts: Einbringung in Steico-Stegträgersystem

Insgesamt kann die Variante der Bündelung als Hybridform zwischen losem Schilf und Platten angesehen werden, da sie einerseits eine homogene Dichte und eine wärmebrückenfreie, formstabile Schicht ermöglicht, andererseits noch immer flexibel genug ist, um die Rohre z. B. nach der Einbringung noch an die Konstruktion anzupassen. Theoretisch ist auch der Zuschnitt der gesamten Bündel möglich, wenn die Bindung fest genug erfolgt ist.

Vorteilhaft sind bei losen Rohren generell die geringeren Kosten des Dämmmaterials im Vergleich zu Platten, da keine aufwendige Aufbereitung (mit Drahtbindung oder Bindemittel) erfolgen muss. Weiters zeigten die ersten Vergleiche, dass lose Rohre bei geringerer Dichte als drahtgebundene Platten eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

Besonders die Anwendung im Giebelbereich (vor allem Zuschnitt) muss jedoch noch weiter untersucht werden. Hier wäre eine flexiblere Lösung sinnvoll.

### Schilfhäcksel

Schilfhäcksel ist sehr einfach einzubringen und passt sich Unebenheiten im Hohlraum sehr gut an (siehe Abbildung 78). Dadurch können Wärmebrücken vermieden und die Einbringung erleichtert werden. Schilfhäcksel weist außerdem im Vergleich zur

drahtgebundenen Schilfplatte und zu losen Schilfrohren die geringsten Wärmeleitfähigkeitswerte und die besten Brandeigenschaften auf (vgl. Kap. 3.3).

Um Setzungen zu vermeiden, ist laut ersten Abschätzungen eine Dichte von  $150 \text{ kg/m}^3$  im auszufüllenden Raum anzustreben.



Abbildung 78: Schilfhäcksel-Schüttung zwischen Stegrägern, Bestandsmauerwerk und Putzträgerplatte

Die nachfolgende Tabelle fasst nochmals alle relevanten Bewertungskriterien für die 3 vorgestellten Varianten der verwendbaren Dämmstoffe zusammen.

## Vergleich der Schilffüllungen

	<b>Drahtgebundene Schilfrohrplatte 60 x 100 cm</b>	<b>Lose Schilfrohre</b>	<b>Schilfhäcksel</b>
<b>Wärmeleitfähigkeit</b> $\lambda_{tr,10}$	0,0513 W/mK	0,0502 W/mK	0,0420
<b>Dichte</b>	158 kg/m <sup>3</sup>	136 kg/m <sup>3</sup>	148 kg/m <sup>3</sup>
<b>Verarbeitung</b>	- Manuelles Zuschneiden und Einbringen - Drahtbindung bei Schrägen problematisch	+ Effizienter Zuschnitt, wenn Schilfrohr in Bündeln vorhanden - Bei Schrägen problematisch	+ Einfache Einbringung. Weiterentwicklung mit maschineller Einbringung muss untersucht werden
<b>Ökologische Eigenschaften</b>	- Draht- und Zuschnittabfall	- Zuschnittabfall	+ Kein Draht- und Zuschnittabfall - Evtl. Staubemissionen bei der Einbringung
<b>Arbeitsaufwand</b>	- Platten müssen so zugeschnitten werden, sodass beim Einbau nicht Draht auf Draht liegt	- In momentaner Form hoch	+ Gering

Tabelle 22: Vergleich der Schilffüllungen

Der Vergleich der Schilf-Dämmstoffvarianten unabhängig von der WDVS-Konstruktion (vgl. Kap. 3.3.4) hatte ergeben, dass sich Schilfhäcksel aufgrund mehrerer Kriterien (u. a. Wärmeleitfähigkeit und Herstellungsaufwand) gegenüber losen Schilfrohren und drahtgebundenen Schilfrohrplatten hervorhebt. In Kombination mit einer WDVS-Konstruktion stellen sich zusätzlich Anforderungen an die Wärmebrückenfreiheit und die Homogenität der Dämmschicht sowie an den Arbeitsaufwand für die Einbringung. Auch hinsichtlich dieser Faktoren bietet Schilfhäcksel Vorteile, da eine sehr homogene Füllung erreicht wird, wie sie mit Schilfrohren bzw. Platten nicht möglich ist, und da die Einbringung wenige zusätzliche Arbeitsschritte benötigt (z. B. im Vergleich zur notwendigen Bündelung der losen Schilfrohre). Die Dämmung an schwierigen Stellen wie im Giebelbereich oder an runden Mauern lässt sich ebenfalls nur mit Schilfhäcksel leicht durchführen.

Aus diesen Gründen wurde **Schilfhäcksel** als die bevorzugte Variante für das Wärmedämm-Verbundsystem mit NEH-/Passivhaus-Standard (Stegträgersystem) ausgewählt. Nichtsdestotrotz sollte auch die Möglichkeit der Füllung mit losen Schilfrohren nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, da diese gegenüber Schilfhäcksel auch Vorteile z. B. durch eine geringere Wasseraufnahme zeigen. Eventuell ergeben sich mittels einer Optimierung dieser Optionen Anwendungsmöglichkeiten, die auch vom Arbeitsaufwand her zu rechtfertigen sind, z. B. mit der Einbringung von losen Schilfrohren im Zuge einer Kerndämmung oder im Fertigteilhausbau mit dem serienmäßigen Zuschnitt und der werkseitigen Einbringung von losen Schilfrohren.



### 4.3.3. Abschluss- bzw. Putzträgerplatte

Die Platte, die als Abschluss auf die Stegträgerkonstruktion aufgebracht wird, dient als Abschluss der Kammern für den Schüttdämmstoff und im Idealfall zugleich als Putzträgerplatte. Dadurch ergeben sich einige Anforderungen an diese Platte: Sie muss dem Druck der Schüttung durch entsprechende Biegefestigkeit standhalten können, und sie muss eine gute Funktion als Putzträger aufweisen. Darüber hinaus ist auch zu beachten, wie die Platte auf den vertikalen Trägern angebracht wird (wie oft kann/muss verdübelt bzw. geklammert werden, wie werden die Plattenstöße ausgeführt), weiters prinzipielle Anforderungen wie Kosten und Arbeitsaufwand (Gewicht, Zuschnitt etc.) sowie ökologische und bauphysikalische Eigenschaften (Dämmwirkung).

#### Vergleich von draht- und thermoplastgebundener Schilfrohrplatte als Putzträgerplatte

Schilfrohre eignen sich, wie bereits erwähnt (Kap. 2.2.2), aufgrund ihrer Oberfläche sehr gut als Putzträger. Die drahtgebundene Schilfrohrplatte wird daher derzeit nicht nur als Dämmstoff, sondern auch als Putzträgerplatte eingesetzt. Die drahtgebundenen Platten mit werksmäßigen Abmessungen von 200 x 125 x 5 cm haben ein relativ hohes Gewicht, ermöglichen aber durch ihre Größe eine Verringerung von Wärmebrücken beim Anschluss zweier Breitseiten. Stehend können die Platten bei einer durchschnittlichen Ständerweite von 0,6 m an drei Stegträgern angebracht werden, wodurch eine gute Fixierung erreicht wird.

Die in diesem Projekt entwickelte thermoplastgebundene Schilfrohrplatte (vgl. Kap. 3.2) eignet sich ebenso wie die konventionelle drahtgebundene Platte gut als Putzträger. Platten mit den Abmessungen 60 x 100 x 5 cm wurden auf das Stegträgersystem montiert. In Abbildung 79 ist zu sehen, wie die Platte mittels Dübelteller und Schraube an der Stegträgerkonstruktion verschraubt wird. Erkennbar ist das leichte Nachgeben der Platte aufgrund des Anpressdrucks des Dübeltellers. Es ist daher bei der Produktion der Platten auf ausreichende Dichten zu achten, bzw. sind alternative Befestigungsmöglichkeiten zu prüfen, die eine bessere Druckverteilung ermöglichen.



Abbildung 79: Abschluss-/Putzträgerplatte. Links: Drahtgebundene Schilfrohrplatte; Rechts: Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte

Die beiden Schilfrohrplatten – drahtgebunden und thermoplastgebunden – sind hinsichtlich ökologischer Eigenschaften, Dämmwirkung und Putzträgerfunktion ähnlich, unterscheiden sich jedoch vor allem im Arbeitsaufwand. Die drahtgebundene Platte kann, wie bereits erwähnt, nur schwer zugeschnitten werden und weist ein hohes Gewicht auf. Die

thermoplastgebundene Platte hingegen ist leichter und auch leichter zuschneidbar (vgl. Kap. 4.2.1).

#### **4.3.4. Entwicklungsergebnis Konstruktionstyp 2**

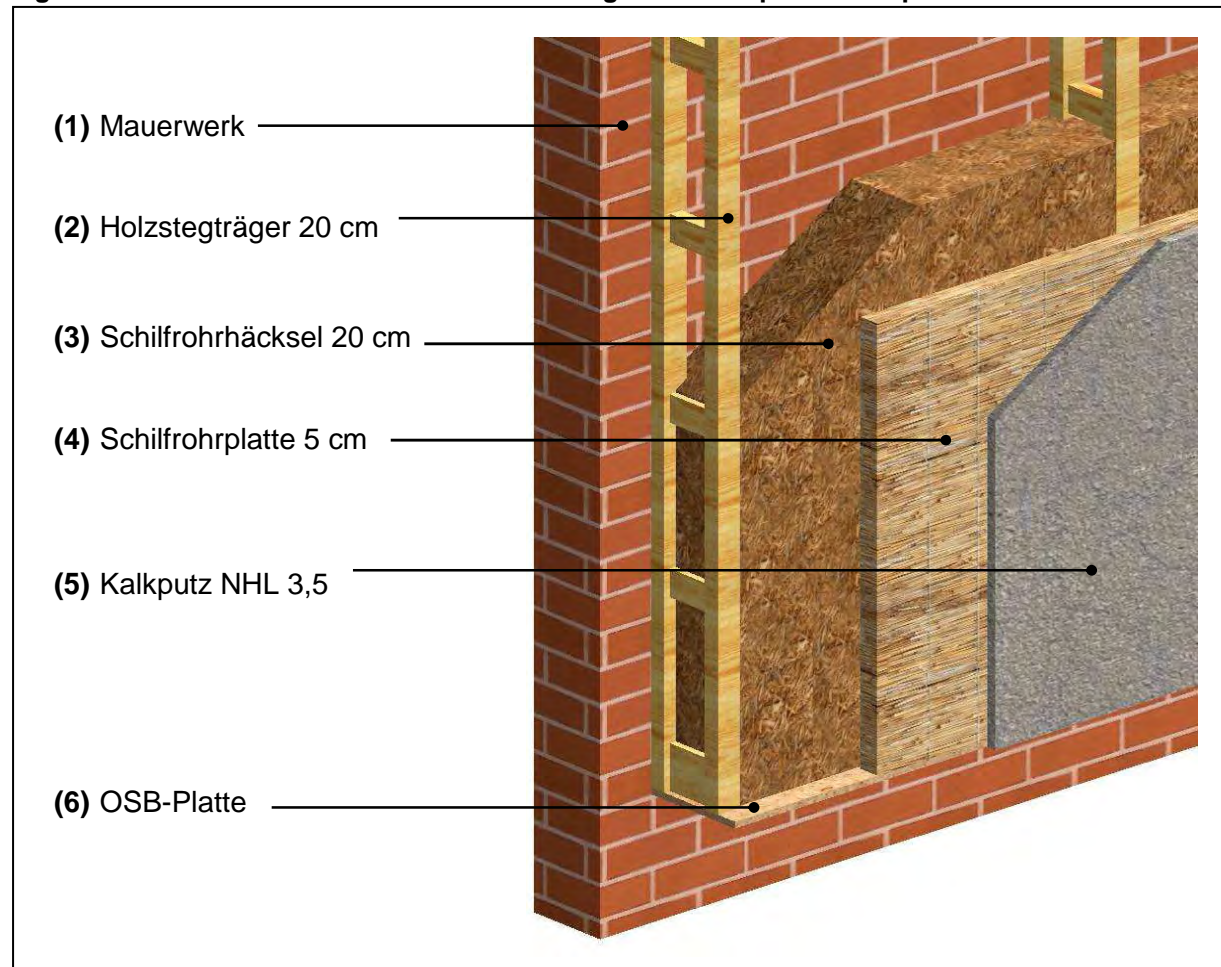
Die untersuchten Einzelkomponenten – Befestigung, Dämmstofffüllung und Putzträgerplatte – müssen nun für ein Gesamtsystem zusammengeführt werden. Dabei sind diejenigen Varianten auszuwählen, die am besten aufeinander abgestimmt werden können.

Im Vergleich der Schilffüllungen hat sich Schilfhäcksel vor allem durch die niedrige Wärmeleitfähigkeit und den geringen Arbeitsaufwand hervorgehoben, zwei Faktoren, die für ein Wärmedämm-Verbundsystem besonders relevant sind.

Auch bei der Auswahl eines Befestigungssystems sind diese Kriterien wesentlich. Während die untersuchten Stegträger von Lignotrend sich durch ihr geringeres Gewicht und die direkte Verdübelung im Untergrund vom Arbeitsaufwand her auszeichnen, sind die Stegträger von Steico besser für die wärmebrückenfreie Einbringung von Schilfrohrplatten und losen Schilfrohren geeignet. Da sich jedoch Schilfhäcksel gegenüber Schilfplatten und -rohren als sinnvollere Dämmstoffvariante erwiesen hat, soll für das Gesamtsystem auf die Lignotrend-Stegträger zurückgegriffen werden. Diese sind für die Verwendung mit Einblasdämmung vorgesehen und daher für eine Füllung mit Schilfhäcksel gut geeignet. Mit dieser Kombination können sowohl Arbeitsaufwand als auch Dämmwirkung optimiert werden.

## Konstruktionstyp 2 – Entwicklungsergebnis

Lignotrend U\*Psi F-200/ Schilfhäckselanschüttung/ Schilfrohrplatte/ Kalkputz



### Detailbeschreibung des Schichtaufbaus:

#### **(1) Mauerwerk:**

Bestand, Tragfähigkeit ist zu überprüfen (Dübelauszugsfestigkeit), Putzschicht kann bei diffusionsoffenen Varianten erhalten bleiben

#### **(2) Holzstegträger 20 cm:**

Trägerabstand (lichte Weite)  $e \sim 1,0$  m, mit Polyester-/Polyamid-Vlies, Befestigung mittels Langschaftdübeln (z.B. Typ Fischer FUR 10/135 T\*) bei ca.  $0,4$  kN / m<sup>2</sup> Fassadenlast

#### **(3) Schilfrohrhäcksel (Schüttung) 20 cm:**

Einblasdämmung, Rohdichte ca.  $150$  kg / m<sup>3</sup>, Wärmeleitwert ( $\lambda_{tr,10}$ ) ca.  $0,042$  W/(m\*K)

#### **(4) Schilfrohrplatte (thermoplastgebunden) 5 cm:**

Kammerabschluss und Putzträger, ca.  $150$  kg / m<sup>3</sup>, Wärmeleitwert ( $\lambda_{tr,10}$ ) ca.  $0,051$  W/(m\*K)

#### **(5) Kalkputz NHL 3,5:**

Schichtstärke 3 cm, 3-Schicht-Aufbau

#### **(6) Sockelprofilleiste:**

OSB-Platte, 2 cm Stärke

Abbildung 80: Aufbau Konstruktionstyp 2 – Entwicklungsergebnis

## Bauphysikalische Berechnungen

Das hygrothermische Verhalten des entwickelten Konstruktionstyps 2 wurde in mehreren Simulationsvarianten berechnet:

Bauphysikalische Berechnungen Konstruktionstyp 2 (Entwicklungsergebnis)
Variante 1: Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder-verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz)
Variante 1.1: Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder-verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz), Anschluss OSB-Platte
Variante 2: Betonwand (Schilfplatten Nut-Feder-verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz)
Variante 3: Aufbau Variante 2 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (= Worst Case)
Variante 3: Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell

Tabelle 23: Durchgeführte bauphysikalische Berechnungen für Konstruktionstyp 2 (Entwicklungsergebnis)

Die Änderung der angenommenen Unterkonstruktion (Variante 2) hat geringe Auswirkungen auf den Feuchtegehalt der einzelnen Schichten. Mit einer Betonwand als Bestand anstatt massiven Ziegelmauerwerks werden in der Simulation höhere Feuchten erreicht.

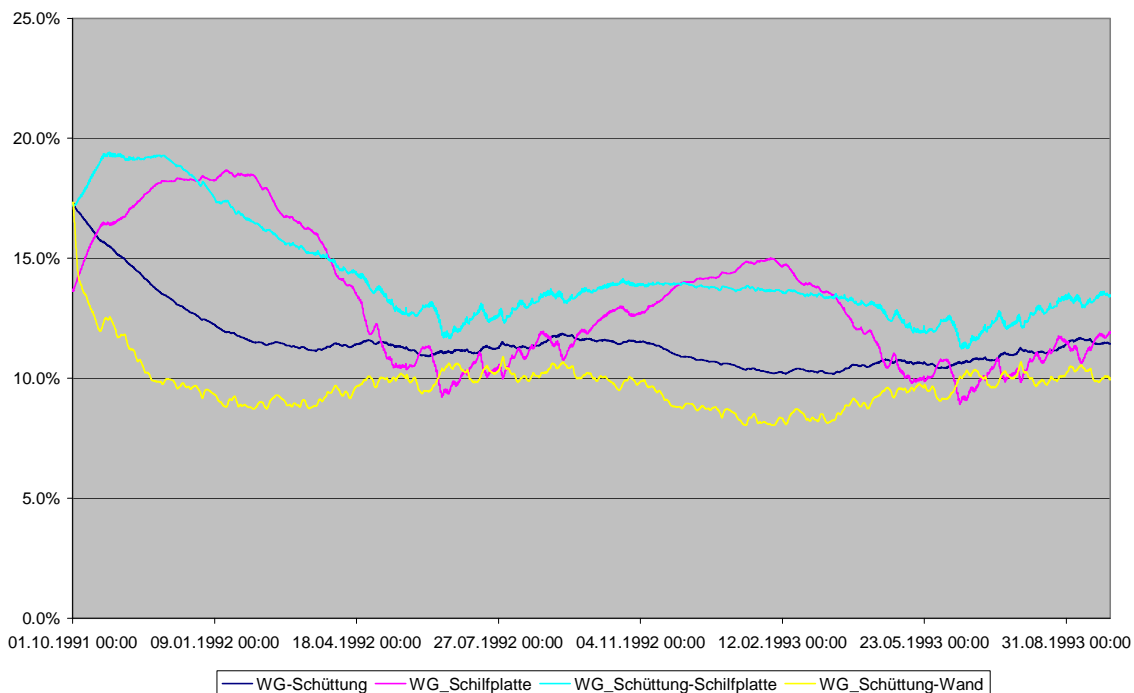


Abbildung 81: Variante 3 – Worst Case

Die Variation mit der OSB-Platte als Tragkonstruktion zeigt leicht erhöhte Feuchten im Vergleich zu der Ausgangsvariante. Die Änderung der Orientierung sowie die Berücksichtigung des Saugeffekts des Baustoffs hat eine geringe Erhöhung der Feuchte in den Bauteilen zur Folge und wurde, als schlechteste mögliche Variante, auf Schimmelpilzauskeimung untersucht. Die höchsten Feuchten werden dabei in der Grenzschicht Schüttung und Schilfplatte erreicht.

In einer detaillierten Untersuchung der Grenzschicht zeigte sich, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von 60–70% einstellt. Die Analyse mittels Isoplethensystem ergab, dass die hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen

Perioden überschritten werden. Aus einer Analyse der Überschreitungszeiten kann jedoch gefolgert werden, dass keine Schimmelbildung in der untersuchten Schicht zu erwarten ist. Da in den untersuchten Schichten kein Schimmel auftritt, ist der Wandaufbau, unter Voraussetzung einer luftdichten Ausführung, bauphysikalisch geeignet. Nachfolgend wird dargestellt, für welche Anwendungsfälle sich dieser Konstruktionstyp eignet.

## Anwendungsprofil Konstruktionstyp 2

Anwendung	Relevante Kriterien	Eignung für			
		PH	NEH	Mindest-Dämmung	
Neubau (Unterkonstruktion)	Stahlbeton	* Geringer Materialverbrauch (Dübel) aufgrund hoher Untergrundfestigkeit * Hohe Ebenmäßigkeit des Untergrunds ist günstig für Stegträgeranbringung * Kurze Bauphase, da Einbaufeuchte des Stahlbetons durch Dämmschichtaufbau abtransportiert werden kann	ja	ja	ja
	Mauerwerk	* Materialverbrauch (Dübel) höher als bei Beton durch geringere Untergrundfestigkeit * Kurze Bauphase, da Einbaufeuchte des Mörtels durch Dämmschichtaufbau abtransportiert werden kann * Dübel für Stegträger können im Mauerwerk bereits eingearbeitet werden (geringer Arbeitsaufwand)	ja	ja	ja
	Holzständerbau	* Implementierung der Ständerkonstruktion in Tragsystem sinnvoll, daher hauptsächlich für Sanierung interessant * Bei Verwendung geeigneter Stegträger kann gesamter Wandaufbau statisch tragend ausgeführt werden * Massivholzwand: sehr gute Eignung für zusätzliche Dämmschicht bei geringem Materialverbrauch (Holzdübel)	ja	ja	ja
Altbau / Sanierung	* Architektonische Sonderformen können durch variable Ständerweiten gut eingearbeitet werden * Aufsteigende Mauerfeuchte kann durch diffusionsoffenen Gesamtaufbau gut abgeführt werden * Variable Dämmschichtstärke kann sich unterschiedlichen Mauerstärken anpassen * Alte Putzschichten müssen nicht entfernt werden, da Granulatschüttung Unebenheiten des Untergrunds ausgleicht	soweit sinnvoll	soweit sinnvoll	ja	

Tabelle 24: Anwendungsprofil Konstruktionstyp 2

Ein Vergleich des Ausgangssystems (Holzlattung mit Hanf-/Schilfplatten) mit dem entwickelten System (Stegträger mit Schilfhäcksel) zeigt alle durch die Entwicklungstätigkeit an diesem Konstruktionstyp 2 erreichten Verbesserungen (siehe folgende Tabelle).

## Vergleich Ist-Stand und Entwicklungsergebnis

	<b>Ist-Stand:</b> Holzlattung 2 x 5 cm / Hanf-/Flachsfüllung (10 cm) / drahtgebundene Schilfrohrplatte (5 cm) / Kalkputz	<b>Entwicklungsergebnis:</b> Lignotrend U*psi F 20 / Schilfhäckselanschüttung (20 cm) / thermoplastgebundene Platte (5 cm) / Kalkputz
<b>U-Wert</b>	0,259 W/m <sup>2</sup> K	0,172 W/m <sup>2</sup> K NEH-Standard einfach erzielbar
<b>Bauphysik</b>	- Evtl. Kondensatbildung durch Luftpolster	In luftdichter Ausführung keine Kondensatbildung
<b>Verarbeitung</b>	+ Schilfplatten werden durch Klemmfilze (Hanf, Flachs) ersetzt. Dadurch einfachere Verarbeitung, geringeres Gewicht	+ Einfache Einbringung des Dämmstoffs
<b>Ökologische Eigenschaften</b>	+ Rückbau möglich. +/- Je nach verwendeter Stützfaser/Bindemittel für den Hanf-/Flachsdämmstoff - Angeheftete Platten sind schwerer zu lösen	+ Rückbau möglich + Kein Verschnitt/Abfall + Kann kompostiert werden
<b>Materialverbrauch</b>	- Erhöhter Holzeinsatz (2 x Holzlattung und Sparschalung) + Niedrige Dichte des Dämmstoffs (Flachs/Hanf) - Abfälle durch Zuschnitt (Dämmstoff)	+ Geringer Holzeinsatz (Stegträger) + Keine Abfälle (Dämmstoff) - Hoher Dämmstoffverbrauch, da hohe Dichte des Dämmstoffes
<b>Arbeitsaufwand</b>	+ Dübel werden nur in Holzunterkonstruktion eingebracht + Schilfplatte kann an Holzschalung angeheftet werden - Manuelle Einbringung des Dämmstoffs	+ Effiziente Anbringung der Stegträger + Schnelles Einbringen der Schüttdämmstoffen möglich

Tabelle 25: Konstruktionstyp 2 – Vergleich Ist-Stand und Entwicklungsergebnis

Mit dem entwickelten System kann die Dämmwirkung des Gesamtsystems deutlich verbessert werden; eine Dämmstärke von 25 cm zur Erreichung von Niedrigenergiehaus-Standard ist mit der Kombination aus einem Stegträgersystem und Schilfhäcksel problemlos möglich. Die Einbringung des Dämmstoffs wird ebenfalls erleichtert.

### 4.4. Sonderfall lasttragende Strohballenwand

Studien aus Deutschland haben gezeigt, dass beim lasttragenden Einsatz von Strohballen und damit beim Verzicht einer zusätzlichen massiven tragenden Schicht im Wandaufbau (z. B. Betonwand, Mauerwerk etc.) besondere Beachtung auf den Feuchtigkeitsabtransport aus dem Strohballen gelegt werden muss. Da weiters die Dämmwirkung einer lasttragenden

Strohballenwand im Regelfall stets den Anforderungen passivhaustauglicher U-Werte ( $< 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) entspricht, können die Anwendungsmöglichkeiten von Schilfrohrplatten an Strohballenwänden speziell in Bezug auf die Eignung als (putztragender) Witterungsschutz überprüft werden.

Die folgende Abbildung zeigt eine bauphysikalisch unbedenkliche Lösung für beidseitig mit Lehm verputzte, lasttragende Strohballen unter Verwendung einer hinterlüfteten Vorhangfassade, die typischerweise in Holz, jedoch ebenso in Schilf ausgeführt werden kann.

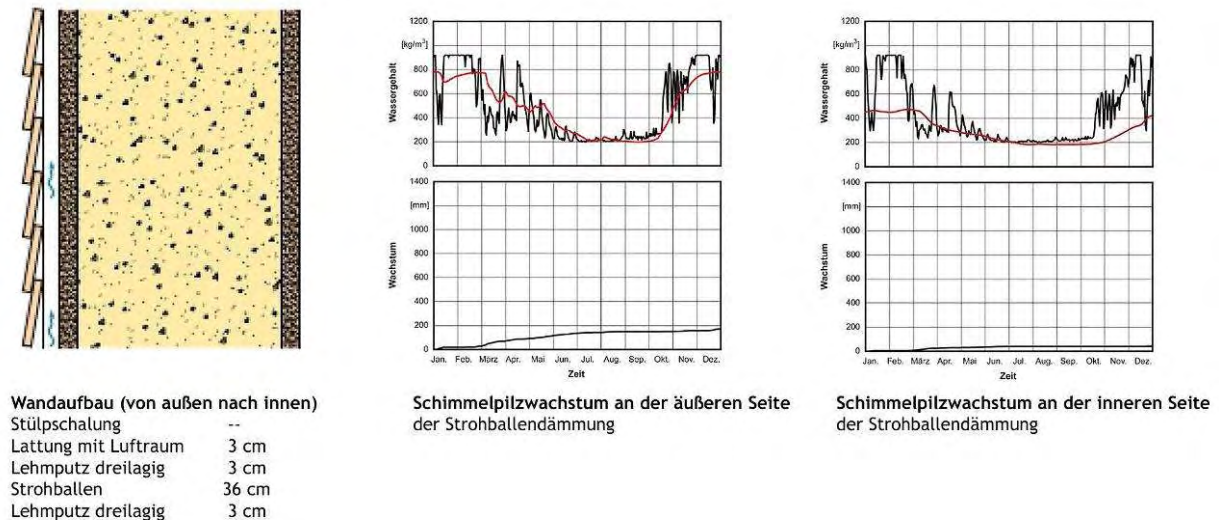


Abbildung 82: Hygrothermische Simulation eines lasttragenden Strohballenwandaufbaus mit hinterlüfteter Vorhangfassade und beidseitigem Lehmverputz<sup>57</sup>

Bei Verwendung einer innen- und außenseitig den Strohballen umhüllenden Lehmputzschicht (3 cm) sowie einer Hinterlüftung an der Außenseite als zusätzlichem Wetterschutz ist die Konstruktion in Bezug auf substanzgefährdendes Schimmelwachstum als unbedenklich einzustufen, da im Strohballen kein kritischer Wassergehalt erreicht wird (siehe Abbildung 82).

Eine vergleichbare Konstruktion wurde auch bereits im Rahmen des Demonstrationsgebäudes S-HOUSE<sup>58</sup> mit einer erhöhten Strohballenschichtstärke von 50 cm hinter einer massiven Holzwandtafel erfolgreich umgesetzt.

Schilfrohr kann an einer Strohballenkonstruktion als abschließende Witterungsschutzschicht eingesetzt werden. Die besonderen Vorteile beim Einsatz einer Schilfdämmplatte im Vergleich zu einer konventionellen Holzverschalung können anhand der nachfolgenden Tabelle betrachtet werden.

<sup>57</sup> Danielewicz et al. 2008, S. 176.

<sup>58</sup> Vgl. Wimmer et al. 2006.

	<b>Holzverschalung (Lärchenholz) auf vertikaler Holzlattung</b>	<b>Schilfrohrplatte, gedübelt oder geklammert auf vertikaler Holzlattung</b>
<b>Bauphysikalische Unbedenklichkeit</b>	Gegeben bei mindestens 3 cm tiefer vertikaler Belüftungsschicht.	Gegeben bei mindestens 3 cm tiefer vertikaler Belüftungsschicht (z. B. Lebensdauer 20–30 Jahre Reetdach)
<b>Sommerlicher Wärmeschutz</b>	Gut, allerdings eingeschränkt durch relativ geringe Schichtdicke (ca. 2 bis 3 cm).	Gut, aufgrund von Schichtdicke von mind. 5 cm, bei zusätzlicher Putzschicht noch besser.
<b>Materialkosten</b>	Ca. 20 € / m <sup>2</sup> bei 2,5 cm Schichtdicke (Lärchenholz).	Ca. 10 € / m <sup>2</sup> bei 5 cm Schichtdicke (drahtgebundene Schilfrohrplatte).
<b>Arbeitsaufwand bei Errichtung</b>	Hoch, da viele Dübelverbindungen pro m <sup>2</sup> und häufige Plattenstöße aufgrund der geringen Abmessungen.	Gering, da wenige Dübelverbindungen pro m <sup>2</sup> und Plattenstöße.
<b>Eignung als Putzträger</b>	Nur bei zusätzlicher Verwendung von Haftvermittlern und Armierung möglich.	Direkt als Putzgrundlage verwendbar.
<b>Eignung für Sonderlösungen (z. B. abgerundete Mauer)</b>	Nur durch hohen zusätzlichen Arbeits- und Materialaufwand herstellbar.	Gute Eignung aufgrund Restelastizität der Schilfrohrplatten (Biegung möglich) bei geringem Zusatzaufwand.

Tabelle 26: Vergleich hinterlüfteter Vorhangfassadenlösungen für den Strohballenbau

Um die Schilfrohrplatte wirkungsvoll an der Strohmauer zu verankern, muss ein geeignetes Befestigungssystem Verwendung finden. Die im S-HOUSE-Projekt entwickelten Treeplast-Schrauben<sup>59</sup> erscheinen hier als besonders geeignete Lösung. Diese sind aus Biopolymeren gefertigt und erzeugen daher in Kombination mit Schilfrohrplatten, Strohballen und einer Holzkonstruktion keine materialbedingten Wärmebrücken, die im Falle einer monolithischen Strohballenwand das Problem auftretenden Kondenswassers innerhalb der Dämmschichtebene bergen könnten.

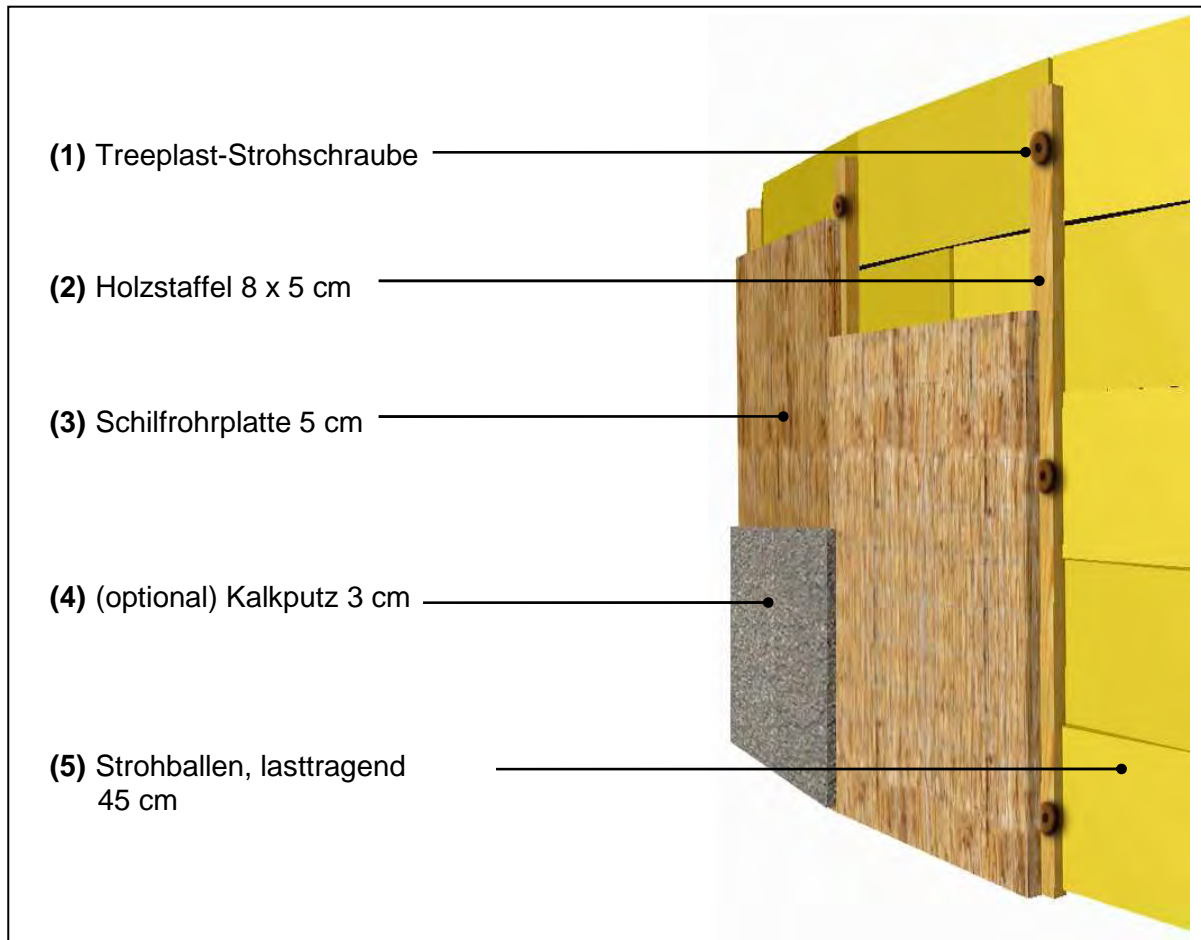
Dieser Systemaufbau wird auf der folgenden Seite dargestellt, und zwar anhand einer abgerundeten Strohballenwand als speziellem Anwendungsfall.

<sup>59</sup> Vgl. Wimmer et al. 2006, S. 34.



### Systemaufbau lasttragende Strohballenwand mit Schilfrohrplatten

Strohballen lasttragend 45 cm / Holzstaffel 8x5 cm befestigt mit Treeplast-Schraube, Schilfrohrplatte 5 cm



#### Detailbeschreibung des Schichtaufbaus:

##### **(1) Treeplast-Strohschraube:**

3-4 Stück/m<sup>2</sup>

##### **(2) Holzstaffel 8 x 5 cm:**

Abstand (lichte Weite)  $e \sim 1,0$  m, Querschnittsschwächungen im Bereich der Treeplast-Schraube zur planen Versenkung des Schraubenkopfes

##### **(3) Schilfrohrplatte 5 cm:**

Drahtgebunden oder thermoplastgebunden

##### **(4) Kalkputz (NHL 3,5) 3 cm (optional):**

Schutzbeschichtung der Schilfrohrplatte nicht zwingend nötig aufgrund der Hinterlüftungsebene

##### **(5) Strohballen, lasttragend 45 cm:**

Rohdichte ca. 100 kg/m<sup>3</sup>, Wärmeleitwert 0,049 W/mK

Abbildung 83: Systemaufbau lasttragende Strohballenwand mit Schilfrohrplatten

## Musterwandaufbauten

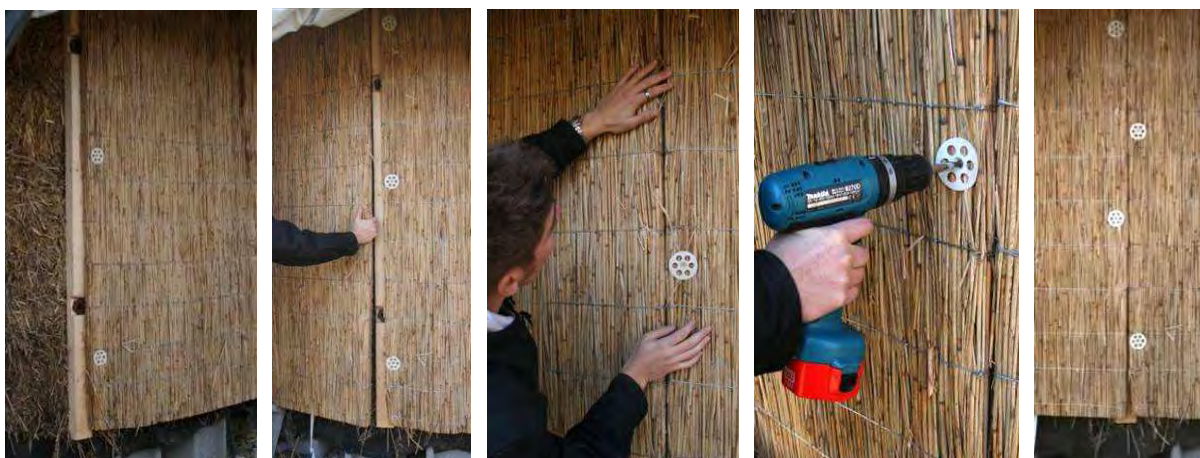
Praktische Musterwandversuche zur Erprobung der ermittelten Lösungsansätze wurden an einer lasttragend konzipierten Strohballenmauer im Zentrum für Angepasste Technologie in Böhleimkirchen (BöZAT) durchgeführt. Diese Strohballenmauer entstand im Jahr 2008 im Rahmen einer Lehrveranstaltung für Architekturstudenten der TU Wien.



Abbildungen 84: Links: lasttragende Strohballen-Musterwand mit gebogenem Wandverlauf. Rechts: Wandaufbau mit Strohballen, Holzsteher, Schilfrohrplatte und Treeplast-Schraube

Die konstruktiv bedingte Rundung im Mauerverlauf konnte durch die vertikalen Holzstaffeln in Verbindung mit den hochkant angebrachten drahtgebundenen Schilfrohrplatten gleichmäßig abgedeckt werden. Die lichte Ständerweite der Holzstaffeln betrug 62,5 cm, so dass pro Schilfrohrplatte je ein Holzelement zentral sowie je eines seitlich mit Überlappung zur nächsten Platte die Unterkonstruktion ausbildete. Wegen der guten Biegsbarkeit der Schilfrohrplatten konnten Hinterlüftungsebenen mit gleichmäßigen Abmessungen realisiert werden, die eine konstante Austrocknung der Strohballen ermöglichen.

Die Anbringung der Schilfrohrplatten erfolgte aufgrund der großflächigen Abmessungen rasch und mit geringer Anzahl an benötigten Befestigungsmitteln. Die Stöße konnten sauber, gleichmäßig sowie ohne besonderen zusätzlichen Arbeitsaufwand ausgeführt werden.



Abbildungen 85: Arbeitsschritte zur Anbringung der Schilfdämmplatten an der vertikalen Holzlattung

## 4.5. Putzoberflächen

Aufgrund der Entwicklungsergebnisse für Außendämmsysteme müssen bei der Auswahl einer geeigneten Oberflächenbeschichtung spezifische Anforderungen beachtet werden. Um ein optimales Performanceprofil des Gesamtsystems zu erlangen, wurden unterschiedliche Putzvarianten zunächst anhand ihrer Kennwerte verglichen und anschließend mittels praktischer Versuchsaufbauten auf Musterwandflächen bewertet. Ergänzend wurden Temperatur- und Feuchtigkeitswerte innerhalb der Musterwandflächen ermittelt und ausgewertet.

### 4.5.1. Anforderungsprofil

Für die Oberflächenbeschichtung eines Schilf-WDVS sind vor allem die Eigenschaften der Schilfrohrplatten interessant, da diese neben ihrer Eigenschaft als Dämmstoff gleichzeitig sehr effiziente Putzträger sind. Dabei muss aber darauf geachtet werden, dass die guten bauphysikalischen Kennwerte des Dämmsystems, vor allem die Dampfdiffusionsoffenheit, durch die Beschichtung nicht zu stark abgeschwächt oder gar unwirksam gemacht werden. Daher ist die Abschlussbeschichtung des WDVS vor allem in Hinblick auf ihre Wasserdampfdurchlässigkeit auszuwählen.

Aus diesem Grund wurde die Hauptgruppe der Kalkputze für alle weiteren Betrachtungen ausgewählt, die im Vergleich zu anderen Putzen, wie z. B. Kunstharz- oder Zementputzen, die besten Werte in Bezug auf Wasserdampfdiffusionsfähigkeit aufweisen und im Vergleich zu Lehmputz eine höhere Festigkeit sowie eine bessere Witterungsbeständigkeit aufweisen.<sup>60</sup> Kalk wird bereits seit tausenden Jahren als Baustoff und zum Verputzen von Innen- sowie Außenwänden verwendet.

Auch eine möglichst hohe Wärmespeicherkapazität ist eine zusätzliche wesentliche Anforderung an die „Außenhaut“ eines Wärmedämmverbundsystems. Bei Baustoffen hoher Dichte sorgt die Endbeschichtung einer Außenfassade für einen trägen Amplitudenausgleich von Temperaturspitzen. Diese Eigenschaft der Putzschicht wird durch die größeren Schichtdicken erfüllt, die sich bei der Anwendung von Kalkputz ergeben. Temperaturschwankungen können in den dickeren Schichten wesentlich besser ausgeglichen werden. Schilfrohrplatten können durch ihre unebenmäßige Oberfläche diese größeren Putzmengen auch problemlos aufnehmen, weshalb kein zusätzlicher Putzträger aufgebracht werden muss. Bei einigen Kalkputzvarianten empfiehlt sich die Verwendung einer Armierung, um spätere Rissbildungen in der Putzoberfläche zu vermeiden (siehe Kap. 4.6.1).

Bautechnisch ist vor allem auch die sehr gute Sanierbarkeit von Kalkputzen im Vergleich zu anderen Putzen aufgrund der etwas geringeren Festigkeit und damit ihre besondere Eignung für den Bereich der Fassadensanierung hervorzuheben. Berücksichtigt man die Anforderungen des Bundesdenkmalamts an Sanierungsmaßnahmen bei denen auch das äußere Erscheinungsbild betroffen ist, so gilt es in erster Linie die bestehende Oberflächenbeschichtung zu erhalten. Ist dies nicht möglich, so sind Kalkputze aufgrund

---

<sup>60</sup> Vgl. Riedel et al. 2007, S. 133.

ihrer Optik und Gestaltungsmöglichkeiten zur Rekonstruktion denkmalgeschützter Fassaden vorzuziehen.

Neben der erwähnten Diffusionsoffenheit sind Kalkputze emissionsfrei, binden Schadstoffe aus der Luft und wirken regulierend auf die Luftfeuchtigkeit im Raum, sie tragen damit zu einem sehr guten Raumklima bei und sind aufgrund den Verzicht synthetischer Zusätze umweltverträglich. Einen Beitrag zum Klimaschutz leisten sie ebenfalls durch die Bindung von CO<sub>2</sub> aus der Umgebungsluft während der sogenannten „Karbonatisierung“ (Erhärtungsphase). Kalkputze sind außerdem antistatisch, wirken durch ihren hohen pH-Wert (> 10) antiseptisch und vermeiden so Schimmelbefall im Innen- wie im Außenbereich.

Alle relevanten Kriterien für die Auswahl einer geeigneten Kalkputzvariante werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Kriterium	Definition	Bestimmende Faktoren
<b>Verarbeitungsaufwand</b>	Kostenrelevanter Zeit- und Arbeitsaufwand zur Errichtung der Putzfläche	Anzahl und Mischungsverhältnis der Putzbestandteile und Zusätze
<b>Aushärtungsdauer</b>	Zeitraum zwischen baulicher Fertigstellung und Erreichen des notwendigen Aushärtungsgrads	Verwendete Kalkputzmischung, Verwendung von Zusätzen, Schichtstärke, Witterung
<b>Festigkeit nach Aushärtung</b>	Endfestigkeit des Kalkputzes gemäß Normung (EN 196-1) mit Mindestanforderung von $\geq 19 \text{ N/mm}^2$	Verwendete Kalkputzmischung, Verwendung von Zusätzen
<b>Feuchteverhalten</b>	Wasseraufnahme- und -abgabeverhalten, Saugfähigkeit der Putzschicht	Rohdichte, Aufbau der Putzschicht (enthaltene Komponenten), Anteil der eingeschlossenen Luftkammern
<b>Sommerlicher Wärmeschutz</b>	Klimatische Phasenverschiebung entsprechend der spezifischen Wärmespeicherkapazität der Putzschicht	Rohdichte der Putzschicht, Aufbau der Putzschicht (enthaltene Komponenten)
<b>Sanierbarkeit</b>	Möglichkeit, eine qualitativ und konstruktiv hochwertige Instandsetzung der Putzschicht inklusive Materialaustausch zu erreichen	Festigkeit der Putzschicht, Aushärtungsverhalten, farbliche Beständigkeit, Oberflächenstruktur

Tabelle 27: Kriterien für die Kalkputzvariantenbewertung

#### 4.5.2. Systemaufbau

Zur praktischen Ermittlung der benötigten Kenndaten und zur Bewertung der Kalkputzvarianten wurde ein Konzept entworfen, welches die Errichtung von Kalkputz-Musterflächen vorsah. Die nur praktisch zu ermittelnden Kriterien wie Verarbeitungsaufwand und Aushärtungsdauer wurden anhand dieser Musterflächenaufbauten überprüft und dokumentiert. Zur Sicherstellung einer präzisen Datenerfassung und -auswertung wurde eine

Mess- und Dokumentationsstation zur Ermittlung und Verarbeitung der Feuchtigkeits- und Temperaturwerte konzipiert und umgesetzt, deren Aufbau die folgende schematische Darstellung zeigt.

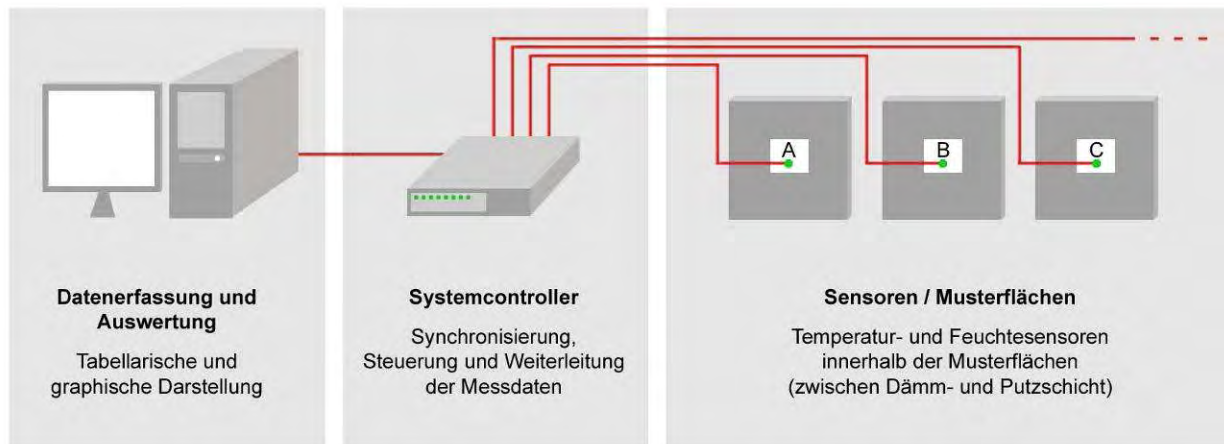


Abbildung 86: Schematischer Aufbau der Temperatur- und Feuchtigkeitsmessstation

Zentrales Element der Messeinrichtung bilden die Temperatur- und Feuchtesensoren vom Typ Sensirion SHT75, der sich durch digitale Datenausgabemöglichkeit, geringen Energieverbrauch, zuverlässige Langlebigkeit und umfangreiche Kalibrierbarkeit auszeichnet.

### Aufbau der Musterflächen

Die jeweils ca. 1,25 m<sup>2</sup> umfassenden Kalkputz-Musterflächen wurden auf einer Unterkonstruktion aus 5 cm starken, drahtgebundenen Schilfrohrplatten angebracht (siehe Abbildung 87), welche wiederum auf einer Holzständerkonstruktion befestigt wurde.



Abbildung 87: Unterkonstruktion der Musterflächen und angedübelte Schilfrohrplatten

Die Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren wurden vor dem Putzauftrag auf den Schilfdämmplatten angebracht (siehe Abbildung 88). Durch die gewählte Einbaumethode lieferten die Sensoren Werte für eine sich direkt hinter der Putzschicht befindliche, völlig eingeschlossene luftgefüllte Kammer und keine direkten materialspezifischen Werte der jeweiligen Putzschicht. Diese Einbaumethode simuliert ein „Worst-Case“-Szenario im Hinblick auf gefährlichen Tauwasseranfall bei Betrachtung der Feuchtigkeitskurven innerhalb des Aufbaus.



Abbildung 88: Einbau der Sensoren zur Ermittlung von Temperatur und Feuchtigkeit

Die fünf verschiedenen Varianten wurden in dem für Kalkputze, die als Baustellenmischung hergestellt werden, typischen 3-Schicht-Verfahren aufgetragen: Zunächst muss der Untergrund vorbereitet werden – durch das Ausgleichen von Unebenheiten, evtl. das Anbringen einer Armierung und durch Vornässen.

Die erste Schicht auf dem Mauerwerk bildet danach der sogenannte Spritzbewurf oder „Vorspritzer“ (eine haftvermittelnde Grundierungsschicht höherer Festigkeit) mit einer minimalen Schichtstärke von 0,3 bis 0,7 cm bei einer Flächenabdeckung von ca. 70 %. Diese Schicht wurde für alle Putzvarianten gleichermaßen mit naturhydraulischem Kalk NHL 5 und einem Putzsand – Körnung 0 bis 4 mm, Mischverhältnis 1 zu 3 RT (siehe Abbildung 89) ausgeführt, so daß die Eigenschaften aller nachfolgend aufgetragenen Kalkputzvarianten objektiv verglichen werden konnten.



Abbildung 89: Aufbringen der ersten Putzschicht (Vorspritzer NHL 5) auf die Dämmplatten

Das Kernelement der gesamten Putzschicht bildet der Grund- oder Unterputz, welcher bei Kalkputz zumeist in einer Schichtstärke von mindestens 2 cm ausgeführt wird und abhängig von Rohdichte und gewünschten zusätzlichen Kriterien (Ausbildung eines Oberflächenreliefs, erhöhte Dämmwirkung etc.) mit bis zu 6 cm ausgeführt werden kann. Anhand dieser stärksten Putzschicht wurden die unterschiedlichen Kalkputzvarianten getestet.



Abbildung 90: Links: trockener Spritzbewurf. Mitte: Auftragen des Grundputzes. Rechts: Detailaufnahme Grundputz (Kalkputzvariante 2)

Die abschließende Schicht bildet der Ober- oder Feinputz (in verschiedenen Bearbeitungsvarianten herstellbar), der den äußeren Abschluß sowie eine optische Gestaltungsmöglichkeit bietet.

#### **Anmerkung zur Herstellungsverfahren der Grundputzmischungen:**

Alle beschriebenen Putzvarianten wurden als Baustellenmischung ausgeführt, daher ist der Aufwand der Verarbeitung ein höherer und die Gefahr einer nicht einheitlichen Mischung größer. Ziel war es, bewußt die einzelnen Elemente auf der Baustelle zusammenmischen, da es anwendungsspezifisch in der Denkmalpflege und für manche Bauherren wichtig ist die einzelnen Elemente auswählen zu können und zu wissen welche Rezeptur am besten geeignet ist (dieses Verfahren wird in der Praxis immer auf das jeweilige Objekt abgestimmt). Durch eine Baustellenmischung ist auch eine höhere Flexibilität und Variantenvielfalt möglich.

Alternativ sind die Produkte auch in vorgemischter Form in Säcken und Silo erhältlich wodurch der Aufwand und die Fehlergefahr beim Mischen auf der Baustelle geringer ausfällt. Grundsätzlich sind die Materialkosten einer Baustellenmischung immer geringer, aber der zu erwartende Aufwand in der Verarbeitung muß höher angesetzt werden (Vorabkalkulation daher sinnvoll). Es ist auch darauf hinzuweisen, daß nur erfahrenen Verarbeiter Baustellenmischungen durchführen sollten um die gewünschte Qualität sicherzustellen.

#### **4.5.3. Kalkputzvarianten**

Alle relevanten Inhaltsstoffe, die jeweilige Rohdichte sowie Wärmeleitfähigkeitswerte und Dampfdiffusionswiderstandszahl der getesteten Kalkputzvarianten für die Komponente Grund- bzw. Unterputz werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

<b>Kalkputzvariante</b>	<b>Inhaltsstoffe</b>	<b>Rohdichte [kg / m<sup>3</sup>]</b>	<b>Wärme- leitfähigkeit [W / m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Dampf- diffusions- widerstand</b>
<b>Thermoputz NHL 3,5</b>	Kalkputz NHL 3,5 Volcalit-Gestein (Perlite) Methylzellulose (Bindemittel) Porenbilder Wasser	ca. 350	0,07	< 8
<b>Thermoputz NHL 5</b>	Kalkputz NHL 3,5 Volcalit-Gestein (Perlite) Methylzellulose (Bindemittel) Porenbilder Wasser	ca. 350	0,07	< 8
<b>Thermoputz Kalkmix (NHL 5 + 15)</b>	Kalkputz NHL 3,5 Volcalit-Gestein (Perlite) Methylzellulose (Bindemittel) Porenbilder Wasser	ca. 350	0,07	< 8
<b>NHL 3,5 BSM</b>	Kalkputz NHL 3,5 Sand (Korngröße 0–5 mm) Wasser	ca. 1.800	0,8	4–6
<b>NHL 3,5 BSM + Porenbilder</b>	Kalkputz NHL 3,5 Sand (Korngröße 0–5 mm) Porenbilder Wasser	ca. 1.300	0,4	< 6

\* Werte gemäß Technischen Datenblättern (Quelle: [www.bau-innovation.at](http://www.bau-innovation.at))

Tabelle 28: Getestete Kalkputzvarianten

Auf den folgenden Seiten werden die untersuchten Kalkputzvarianten einzeln anhand der Ergebnisse, die während der Errichtung der Musterflächen sowie der Aushärtungsphase erzielt wurden genauer dargestellt und bewertet.



## **Putzvariante 1**

### **Wärmedämmputz Volcalite Unilit 20 (enthält Perlite) mit naturhydraulischem Kalkputz NHL 3,5 als Bindemittel**

#### Anwendungsprofil:

Wärmedämmputz zur Außen- und Innenanwendung für Schichtstärken bis 3 cm  
(Das Bindemittel entspricht den Grundanforderungen an die benötigten Festigkeitswerte)

#### Dokumentation der Errichtung der Musterfläche:

*Arbeitsaufwand:* hoch durch hohe Anzahl der Inhaltsstoffe und damit verbundene aufwendige Verarbeitungsanforderungen

*Zeitaufwand:* hoch durch Anmischzeiten mit Mindestdauer von 5–10 Minuten / Charge

*Anmerkungen:* geringes Gewicht der Putzmasse, sämige Konsistenz, gute Haftfestigkeit, geringes Abtropfen, leicht glattzustreichen



Abbildungen 91: Thermoputz NHL 3,5. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag

#### Auswertung nach Errichtung und Aushärtungsphase:

Die Grundputzfläche weist eine gute Endfestigkeit auf, lässt sich aber verhältnismäßig leicht in kleineren Stücken ablösen. Sie ist nicht kratzfest, was jedoch Vorteile für die Feinputzanbringung hat, da durch Abrieb leicht eine ebene Fläche hergestellt werden kann. Die anfänglich deutlich vom kalkputztypischen Grauton abweichende Färbigkeit ist nach dem abschließenden Feinputzauftrag weitgehend neutralisiert. Der Feinputzauftrag konnte nach vorhergehender Oberflächenbearbeitung des Grundputzes mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

#### Kernpunkte der praktischen Testreihen:

Da bezüglich der Dampfdiffusionswiderstandszahl ( $\mu$ ) keine klare Aussage getroffen werden kann, jedoch ein erhöhter Wert angenommen werden muss (bei Kalkputzen sonst 4–6) soll daher das feuchtigkeitspezifische Verhalten im Langzeittest untersucht werden um Aussagen treffen zu können ob eine zusätzliche Hydrophobierung des Oberputzes notwendig wird (kann z.B. durch Solar-, Kalkfarb- oder Leinölanstrich zusätzlich geschützt werden).

Wesentlich bei allen Wärmedämmputzvarianten und daher zu überprüfen ist das Verhältnis von Dämmwirkung und Schichtdicke. Daher wurde exemplarisch für diese Kalkputzvariante eine zweite Musterfläche mit einer erhöhten Schichtstärke von 5 cm errichtet, um eine Vergleichbarkeit rein für diesen Faktor zu erlangen.

## **Putzvariante 2**

### **Wärmedämmputz Volcalite Unilit 20 (enthält Perlite) mit naturhydraulischem Kalkputz NHL 5 als Bindemittel**

#### Anwendungsprofil:

Wärmedämmputz zur Außen- und Innenanwendung für Schichtstärken bis 5 cm  
(Das Bindemittel entspricht erhöhten Festigkeitsanforderungen)

#### Dokumentation der Errichtung der Musterfläche:

*Arbeitsaufwand:* hoch durch hohe Anzahl der Inhaltsstoffe und damit verbundene aufwendige Verarbeitungsanforderungen

*Zeitaufwand:* hoch durch Anmischzeiten mit Minstdauer von 5–10 Minuten / Charge

*Anmerkungen:* geringes Gewicht der Putzmasse, leicht körnige Konsistenz, gute Haftfestigkeit, kein Abtropfen, nicht völlig glattzustreichen



Abbildungen 92: Thermoputz NHL 5. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag

#### Auswertung nach Errichtung und Aushärtungsphase:

Die Grundputzfläche weist eine stabile Endfestigkeit auf, kleinere Stücke lassen sich aber aufgrund der rauen Oberflächenstruktur leicht abkratzen. Die Oberflächenebnung ist durchführbar, jedoch aufwendiger als bei Variante 1. Die auch hier anfänglich stark vorhandene Färbigkeit ist nach dem abschließenden Feinputzauftrag ebenfalls fast zur Gänze neutralisiert. Der Feinputzauftrag konnte nach vorhergehender Oberflächenbearbeitung des Grundputzes mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

#### Kernpunkte der praktischen Testreihen:

Auch bei dieser Variante sollte aufgrund des bestehenden Dampfdiffusionswiderstands vor allem das feuchtigkeitsspezifische Verhalten im Langzeittest untersucht und bewertet werden. Bezüglich der Dämmwirkung sollte untersucht werden, ob durch den Tausch des Bindemittels Unterschiede zu Variante 1 kenntlich gemacht werden können.

### **Putzvariante 3**

**Wärmedämmputz Volcalite Unilit 20 (enthält Perlite) mit naturhydraulischen Kalkputzen aus NHL 5 und NHL 15 (sog. Kalkmix, Mischungsverhältnis 50:50) als Bindemittel**

#### Anwendungsprofil:

Wärmedämmputz zur Außen- und Innenanwendung für Schichtstärken bis 5 cm  
(Das Bindemittel entspricht sehr hohen Festigkeitsanforderungen)

#### Dokumentation der Errichtung der Musterfläche:

*Arbeitsaufwand:* hoch durch hohe Anzahl der Inhaltsstoffe und damit verbundene aufwendige Verarbeitungsanforderungen

*Zeitaufwand:* hoch durch Anmischzeiten mit Mindestdauer von 5–10 Minuten / Charge

*Anmerkungen:* geringes Gewicht der Putzmasse, leicht körnige sowie auffällig trockene Konsistenz, gute Haftfestigkeit, nicht glattzustreichen



Abbildungen 93: Thermoputz „Kalkmix“. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag

#### Auswertung nach Errichtung und Aushärtungsphase:

Die Grundputzfläche weist eine stabile Endfestigkeit auf, das Abbrechen von kleinen Stücken und die Glättung der Putzoberfläche ist ähnlich leicht möglich wie bei Putzvariante 2. Die vorhandene Färbigkeit ist auch bei dieser Variante nach dem abschließenden Feinputzauftrag weitgehend neutralisiert, zeigt jedoch im Vergleich die deutlichste Restfärbung aller Putzvarianten. Der Feinputzauftrag konnte nach vorhergehender Oberflächenbearbeitung des Grundputzes mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

#### Kernpunkte der praktischen Testreihen:

Das feuchtigkeitsspezifische Verhalten sollte auch hier im Langzeittest untersucht und bewertet werden. Bezüglich der Dämmwirkung sollte im Vergleich zu Variante 1 und 2 untersucht werden, ob durch den Tausch des Bindemittels Unterschiede festgestellt werden können.

#### **Putzvariante 4**

**Baustellenmischung aus naturhydraulischem Kalkputz NHL 3,5 und feinkörnigem Sand (Korngröße 0–4 mm), Mischungsverhältnis 1 zu 3**

##### Anwendungsprofil:

Kalkputz zur Außen- und Innenanwendung für Schichtstärken bis 5 cm  
(Das Bindemittel entspricht sehr hohen Festigkeitsanforderungen)

##### Dokumentation der Errichtung der Musterfläche:

*Arbeitsaufwand:* gering beim Anmischen und Verarbeiten durch wenige Inhaltsstoffe  
*Zeitaufwand:* gering durch kurze Anmischzeiten je Charge (etwa 3 Minuten) und gute Haftfestigkeit bei der Verarbeitung

*Anmerkungen:* sehr hohes Gewicht der Putzmasse, sehr körnige Konsistenz, gute Haftfestigkeit, Oberfläche lässt sich glattstreichen, bleibt aber sehr körnig (hoher Sandanteil)



Abbildungen 94: NHL 3,5 BSM. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag

##### Auswertung nach Errichtung und Aushärtungsphase:

Die Grundputzfläche weist eine sehr hohe Endfestigkeit auf, das Abbrechen von kleinen Stücken und die Glättung der Putzoberfläche ist fast nicht möglich. Die vorhandene Färbigkeit entspricht nach der Austrocknung den kalkputztypischen Werten und hebt sich daher deutlich von den wesentlich intensiveren Farbgebungen der bisherigen Varianten ab. Der Feinputzauftrag konnte mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

##### Kernpunkte der praktischen Testreihen:

Aufgrund der hohen Rohdichte und der daher hohen spezifischen Wärmekapazität sowie vermutlich hoher Phasenverschiebungswerte sollte das Verhalten dieser Putzvariante im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz untersucht werden. Vor allem im Vergleich zur Variante 5 sollte neben diesem Kriterium auch das Austrocknungsverhalten nach feuchten Witterungsperioden untersucht werden. Um eine Vergleichbarkeit mit den Wärmedämmputzvarianten zu ermöglichen wird der Oberputz ebenfalls als Schutzfarbanstrich mit entsprechender Witterungsbeständigkeit ausgeführt (was auch allgemein für diese Putzvariante empfehlenswert ist)

## **Putzvariante 5**

**Baustellenmischung aus naturhydraulischem Kalkputz NHL 3,5 und feinkörnigem Sand (0–4 mm) in einem Mischungsverhältnis von ca. 1 zu 3 mit Beimischung eines Luftporenbilders**

### Anwendungsprofil:

Luftporenkalkputz zur Außen- und Innenanwendung für Schichtstärken bis 5 cm  
(Das Bindemittel entspricht den Festigkeitsanforderungen)

### Dokumentation der Errichtung der Musterfläche:

*Arbeitsaufwand:* gering beim Anmischen und Verarbeiten durch wenige Inhaltsstoffe  
*Zeitaufwand:* gering durch normale Anmischzeiten je Charge (3 bis 5 Minuten)  
*Anmerkungen:* hohes Gewicht der Putzmasse, körnige sowie sämige Konsistenz, gute Haftfestigkeit, Oberfläche lässt sich glattstreichen



Abbildungen 95: NHL 3,5 BSM mit Porenbilderzusatz. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag

### Auswertung nach Errichtung und Aushärtungsphase:

Die Grundputzfläche weist wie auch Variante 4 eine sehr hohe Endfestigkeit auf, das Abbrechen von kleinen Stücken und die Glättung der Putzoberfläche ist nur erschwert möglich. Die vorhandene Färbigkeit entspricht auch hier nach der Austrocknung den kalkputztypischen Werten und hebt sich daher deutlich von den wesentlich intensiveren Farbgebungen der Varianten 1 bis 3 ab. Der Feinputzauftrag konnte mit geringem Aufwand durchgeführt werden.

### Kernpunkte der praktischen Testreihen:

Vergleichend mit Variante 4 sollte diese Putzvariante im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz untersucht werden, wobei der hohe Luftporenanteil ein ungünstigeres Profil vermuten ließ und eine Ähnlichkeit mit den Profilen der Varianten 1 bis 3 zu erwarten war. Das Austrocknungsverhalten nach feuchten Witterungsperioden stellt ebenfalls im Vergleich zu Variante 4 ein wichtiges Kriterium dar, da aufgrund der Lufteinschlüsse eine höhere Wasseraufnahmekapazität erwartet werden kann.

#### 4.5.4. Thermisches Verhalten der Putzvarianten

Während des Überprüfungszeitraums von Anfang April bis Mitte Juni 2009 zeigte sich bei Betrachtung der Messwerte während kühler Phasen ein sehr homogenes Bild bei allen Putzvarianten. Erst bei Außenlufttemperaturen von über 20 °C konnten quantifizierbare Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet werden, welche in der nachfolgenden Abbildung dargestellt sind.

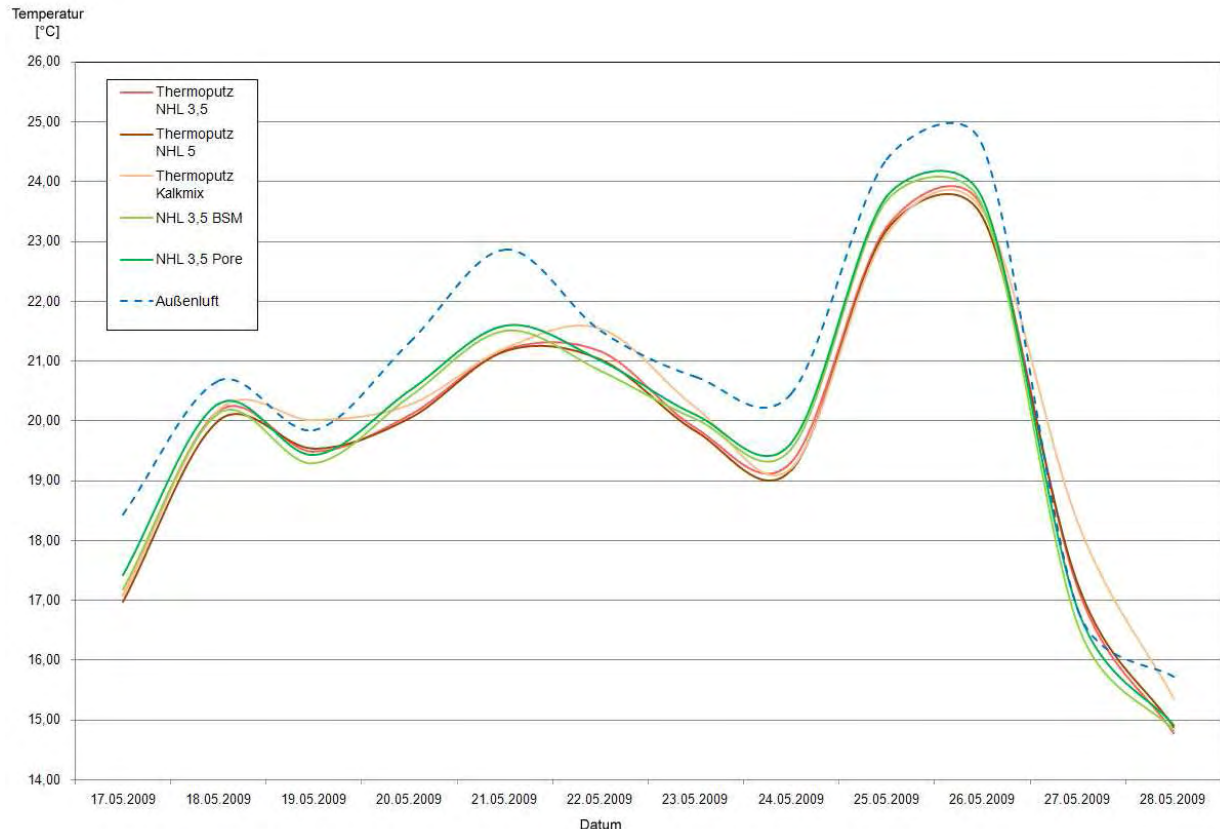


Abbildung 96: Temperaturverlauf innerhalb der Putzvarianten im Sommerfall

Entgegen der Auswertung der technischen Datenblätter weisen die Putzvarianten mit hoher Rohdichte eine schlechtere Wärmespeicherkapazität als die Wärmedämmputze auf. Dies kann am schnellen Temperaturanstieg sowie den generell höheren maximal gemessenen Temperaturwerten der Sensoren von Varianten 4 und 5 erkannt werden. Bei den Wärmedämmputzen zeigt vor allem Variante 3 („Kalkmix“ aus NHL 5 und 15) ein sehr günstiges Profil für den sommerlichen Wärmeschutz aufgrund der sehr trägen Temperaturanpassungskurve. Da sich die Unterschiede der Temperaturmesskurven jedoch im Bereich von maximal 0,5 °C bewegen, übt dieses Kriterium nur geringen Einfluss auf die Endauswertung aus.

Die gesonderte Betrachtung der beiden unterschiedlich dicken Putzflächen basierend auf Variante 1 mit Wärmedämmputz und Bindemittel NHL 3,5 zeigte für den betrachteten Sommerzeitraum mit Temperaturspitzen von weit über 20 °C wesentlich deutlichere Unterschiede im Temperaturkurvenverlauf. Den Grad der Abweichung innerhalb des 11-tägigen Untersuchungszeitraums zeigt die folgende Abbildung.

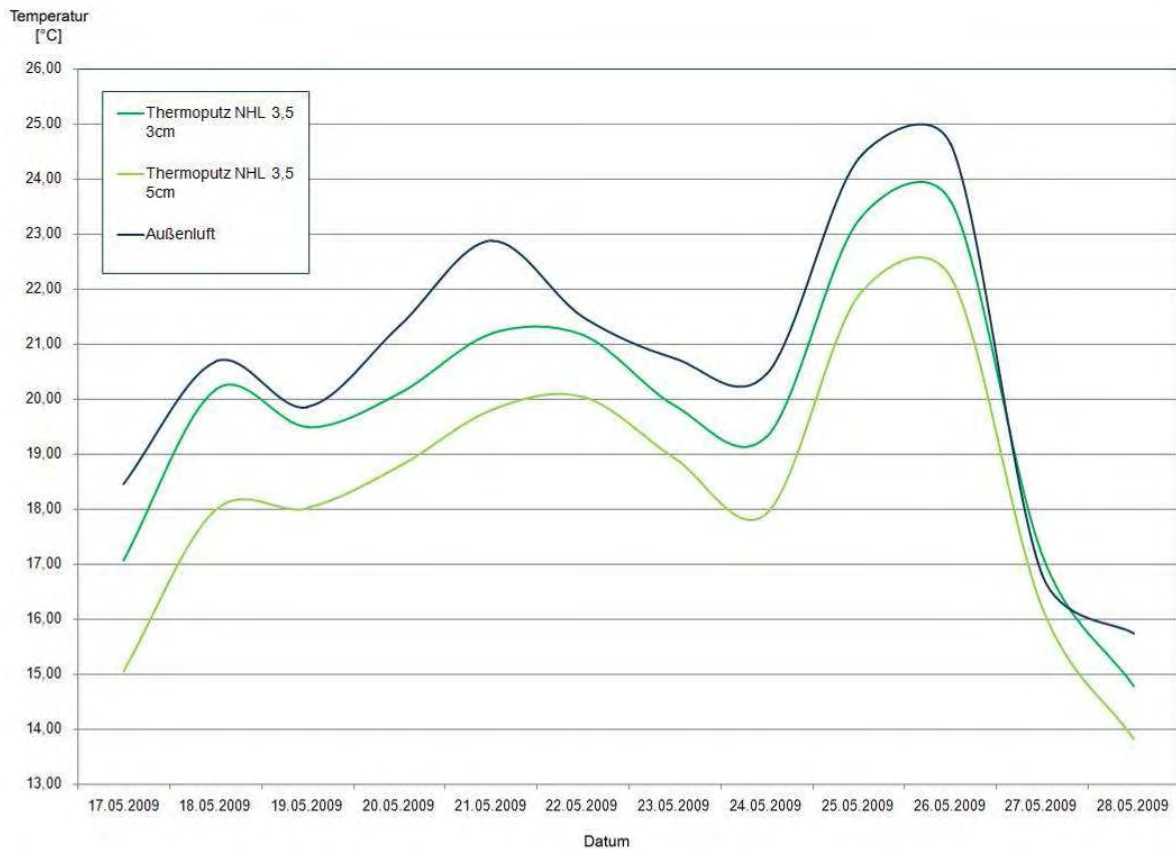


Abbildung 97: Temperaturverlauf bei unterschiedlicher Putzschichtdicke (3 und 5 cm)

Den Messergebnissen kann entnommen werden, daß die um 33 % vergrößerte Schichtstärke einen Abfall der gemessenen Temperatur um teilweise über 50 % im Verhältnis zur dünneren Variante verursacht. Da die Putzvariante 1 auch bereits bei der generellen Betrachtung des sommerlichen Temperaturverlaufs günstige Werte erkennen ließ, scheint eine grundsätzliche Optimierung durch eine Erhöhung der Putzstärke überlegenswert.

#### 4.5.5. Feuchtigkeitsspezifisches Verhalten der Putzvarianten

Mithilfe der Feuchtigkeitssensoren wurde innerhalb eines Zeitraums von insgesamt zwei Monaten das Verhalten der Putzvarianten in der Außenanwendung während unterschiedlicher Witterungsperioden untersucht. Zur Auswertung wurden spezifische, aufgrund ihrer Rahmenbedingungen klar unterscheidbare Phasen innerhalb der Feuchtigkeitsskurven ermittelt und analysiert. Die nächste Abbildung zeigt eine Gesamtdarstellung dieser Phasen.

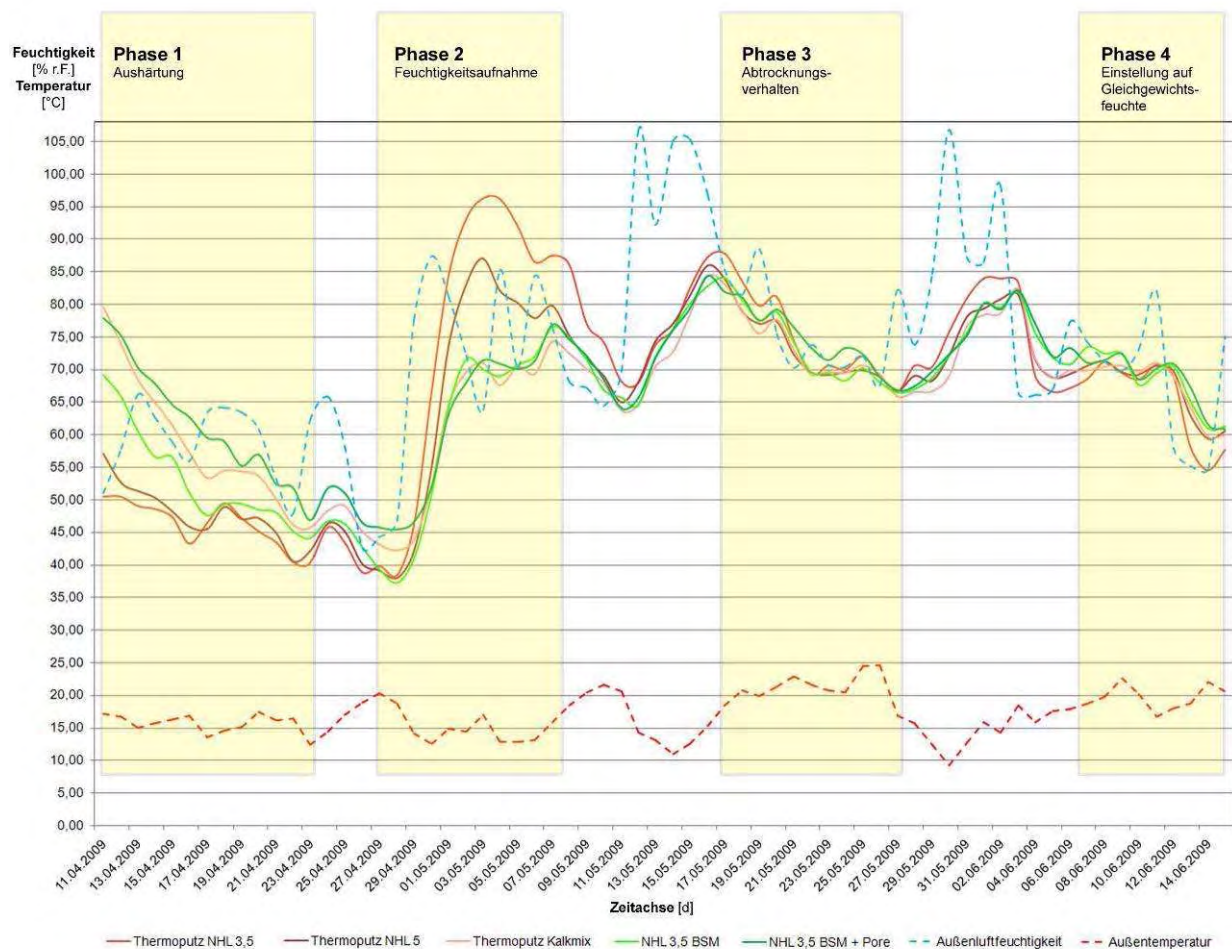


Abbildung 98: Phasenspezifische Feuchtigkeitskurven der Putzvarianten im Vergleich

### Phase 1: Aushärtung

Während des letzten Zeitabschnitts der Aushärtungsphase (ca. zehn Tage) kann aufgrund der unterschiedlichen Feuchtigkeitskonzentrationen auf Unterschiede der jeweiligen Aushärtungsdauer geschlossen werden. Hier scheinen die meisten Wärmedämmputz-Varianten deutlich langsamer zu erhärten, da sie im Vergleich zu den konventionellen Kalkputzvarianten (Variante 4: NHL 3,5 BSM und Variante 5: NHL 3,5 BSM + Pore) einen geringeren Wasseranteil bei der Anmischung enthalten. Die konventionellen Kalkputzvarianten erreichen offenbar trotz ihres höheren anfänglichen Wasseranteils sehr schnell ein gemeinsames Sättigungslevel an Resteinbaufeuchte und gleichen sich deutlich dem Kurvenverlauf der Wärmedämmputzvarianten an. Bei dieser Auswertung muß jedoch wiederum auf die angewandte Messmethodik hingewiesen werden, da es sich bei den Messdaten nicht um Feuchtigkeitswerte der Putzschicht selbst handelt, sondern die relative Luftfeuchtigkeit in einer abgeschlossenen Luftkammer direkt hinter der Putzschicht bestimmt wird.

### Phase 2: Feuchtigkeitsaufnahme

Diese Phase kennzeichnet sich durch einen sehr rapiden Anstieg der Außenluftfeuchtigkeit und kann daher Hinweise auf das spezifische Saugverhalten der Putze (Geschwindigkeit der Wasseraufnahme) sowie die maximale Wasseraufnahmekapazität (Sättigung) geben. Es



zeigte sich, dass die Wärmedämmputzvarianten mit einem abnehmenden Festigkeitswert einen um so höheren feuchtigkeitsspezifischen Sättigungswert erreichen sowie ein wesentlich stärkeres Saugverhalten aufzeigen. Der in den Thermoputzen enthaltene Anteil an Perlitgestein kann hierfür als Ursache angenommen werden, jedoch entspricht diese Beobachtung nicht ganz den ursprünglichen Annahmen auf Basis der Kenndatenauswertung, da beispielsweise der Luftporenputz (Variante 5, NHL 3,5 BSM + Porenbilder) einen im Vergleich zu den Wärmedämmputzen etwas geringeren Wasserdampfdiffusionswiderstand aufweist ( $\mu$ -Wert 6,2), aber trotz des hohen Anteils an Luftporen ein langsamerer Anstieg der Feuchtigkeitskonzentration sowie ein niedrigerer Maximalwert beobachtet wurde.

Diese Ergebnisse müssen allerdings im Kontext zum Abtrocknungsverhalten gesehen werden, um eine Wertung durchführen und eine Eignung für spezifische Anwendungsfälle bestimmen zu können.

### **Phase 3: Abtrocknungsverhalten**

Anhand einer ca. zehntägigen Periode abnehmender Außenluftfeuchtigkeit können Rückschlüsse auf das Abtrocknungsverhalten der Putzmusterflächen getroffen werden. Alle Putzvarianten zeigen nahezu identisches Verhalten und erreichen zum selben Zeitpunkt das untere Plateau einer gemeinsamen Feuchtigkeitskurve. Dies gibt wichtige Anhaltspunkte in Verbindung mit den in Phase 2 ermittelten Feuchtigkeitsaufnahmeprofilen, da für Putztypen im Außenbereich eine rasche Feuchtigkeitsableitung für einen insgesamt dampfdiffusionsoffenen Wandschichtaufbau eine erhebliche Bedeutung darstellt.

Hier zeigen daher vor allem die konventionellen Kalkputzvarianten (Variante 4 und 5) ein besonders vorteilhaftes Verhalten für den Außeneinsatz aufgrund mäßiger Feuchtigkeitsaufnahme-, jedoch hoher Feuchtigkeitsabgabewerte. Für die Innenanwendung scheinen die Wärmedämmputzvarianten aufgrund der Kennwerte allerdings besser geeignet, da im Gegensatz zum Außenbereich keine Witterungseinflüsse einen direkten Feuchtigkeitseintrag in die Putzschicht verursachen können und somit der etwas höhere Wasserdampfdiffusionswiderstand (bei Verwendung eines entsprechend eingestellten Oberputzes) als wirksame Dampfbremse zum Tragen kommt.

### **Phase 4: Einstellung auf Gleichgewichtsfeuchte**

Korrespondierend zu Phase 3 kann im untersuchten Zeitraum von Phase 4 bei geringeren Amplitudenausschlägen der Außenluftfeuchtigkeit sowie einem generell erhöhten Feuchtigkeitsniveau aller Sensordaten eine fortschreitende Angleichung der Feuchtigkeitskurven aller Putzvarianten beobachtet werden. Lediglich Putzvariante 1 (Wärmedämmputz NHL 3,5) zeigt ein Profil, welches aufgrund der erreichten Extremwerte sowie der Reaktionsgeschwindigkeit vom restlichen Durchschnitt abweicht.

Aufgrund der Beobachtungen des feuchtigkeitsspezifischen Verhaltens kann davon ausgegangen werden, daß im Außenanwendungsfall bei keinem der untersuchten Putzvarianten mit einem langfristigen und damit für die dahinterliegenden Schichten gefährlichen Anstieg der Feuchtigkeit zu rechnen ist. Wie schon vorab erwähnt muß hierbei die korrekte Verwendung eines geeigneten Oberputzes mit optionalen Schutzanstrichen

quasi als verstärkender Faktor der bestehenden Materialeigenschaften des Grundputzes beachtet werden um den Putzschichtaufbau effektiv vor Witterungseinflüssen zu schützen.

#### 4.5.6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Systemauswahl

Die nachfolgende Tabelle 29 stellt auf Basis der Ergebnisauswertung alle untersuchten Kalkputzvarianten anhand der zuvor im Anforderungsprofil definierten Kriterien nochmals einander gegenüber.

	TP NHL 3,5	TP NHL 5	TP Kalkmix	BSM 3,5	BSM 3,5 Pore
<b>Verarbeitungsaufwand</b> (bei Baustellenmischung)	hoch	hoch	hoch	gering	mäßig
<b>Aushärtungsdauer</b>	ca. 28 Tage	ca. 28 Tage	ca. 35 Tage	ca. 32 Tage	ca. 36 Tage
<b>Festigkeit nach Aushärtung</b>	1,0 N/mm <sup>2</sup>	1,3 N/mm <sup>2</sup>	1,5 N/mm <sup>2</sup>	3–4 N/mm <sup>2</sup>	2–3 N/mm <sup>2</sup>
<b>Feuchteverhalten</b>	sehr hohe Wasseraufnahme- & -abgabekapazität	hohe Wasseraufnahme- & -abgabekapazität	hohe Wasseraufnahme- & -abgabekapazität	geringe Wasseraufnahme-, hohe -abgabekapazität	mäßige Wasseraufnahme-, hohe -abgabekapazität
<b>Sommerlicher Wärmeschutz</b>	sehr gute Dämmwirkung, gute Amplitudendämpfung	sehr gute Dämmwirkung, gute Amplitudendämpfung	sehr gute Dämmwirkung, gute Amplitudendämpfung	mäßige Dämmwirkung, schlechte Amplitudendämpfung	gute Dämmwirkung, schlechte Amplitudendämpfung
<b>Sanierbarkeit</b>	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut

Tabelle 29: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller Kalkputzvarianten

Die praktischen Testreihen in Kombination mit der umfassenden Datenerhebung zu den jeweiligen Putzvarianten haben gezeigt, dass bei der Auswahl der Endbeschichtung eines Außendämmsystems verschiedene Faktoren ausschlaggebend sind, die je nach Anwendungsfall unterschiedlich relevant sind. Daher wurde für beide entwickelten Konstruktionstypen (1: Verdübelung von Schilfrohrplatten, 2: Holzkonstruktion mit gehäckseltem Schilf und Putzträgerplatte) jeweils eine Putzvariante aufgrund ihres individuellen Profils ausgewählt (siehe Tabelle 30 und Tabelle 31).

<b>Putzsystem für Konstruktionstyp 1 und für die Innenanwendung</b> <b>Kalkputzvariante 3: Thermoputz Kalkmix (NHL 5 + 15) + leicht hydrophobierter Feinputz</b>
<b>Vorteile</b>
Sehr hohe Dämmwirkung begünstigt minimal ausführbare Schichtdicke der gesamten Dämmschichtebene
Hohe Schichtstärken aufgrund der geringen Rohdichte und der hohen Festigkeit ausführbar (bis 6 cm)
Leichte Sanierbarkeit bei (für Thermoputzvarianten) guter Festigkeit
Moderate Wasserdampfdurchlässigkeit vorteilhaft bei Innenanwendung aufgrund Ausbildung einer leichten Dampfbremse

Tabelle 30: Auswahl eines Putzsystems für Konstruktionstyp 1 und für die Innenanwendung

<b>Putzsystem für Konstruktionstyp 2</b> <b>Kalkputzvariante 5: NHL 3,5 Baustellenmischung + Porenbildnerzusatz + Kalkfeinputz</b>
<b>Vorteile</b>
Geringe Feuchtigkeitsaufnahmekapazität im Verhältnis zur Feuchtigkeitsabgabe
Gute Dämmeigenschaften aufgrund der zahlreichen Lufteinschlüsse
Dünne Schichtstärken möglich aufgrund der hohen Dichte und Festigkeit (Armierungsschicht dennoch empfehlenswert bei unter 3 cm Schichtstärke)
Hohe Festigkeit begünstigt dünne Trägerplattenstärke und breitere Steherabstände der Unterkonstruktion (bei Putzschichtstärken von 3 cm oder mehr)

Tabelle 31: Auswahl eines Putzsystems für Konstruktionstyp 2

Damit können für Schilf-WDVS nicht nur geeignete Befestigungssysteme für verschiedene Anwendungsfälle, sondern darauf abgestimmt auch jeweils Beschichtungslösungen angeboten werden. Abhängig von der Beschichtung müssen auch Detaillösungen für die Armierung sowie für den Kantenschutz überlegt werden. Diese werden im nächsten Kapitel zusammen mit Detaillösungen für die kritischen Bereiche Sockel und Giebel genauer dargestellt.

## 4.6. Technische Detaillösungen

Um ein Wärmedämm-Verbundsystem für Kunden und Verarbeiter interessant und benutzbar zu machen, müssen neben dem grundsätzlichen Systemaufbau auch Lösungen für besondere Konstruktionsdetails entwickelt werden. Die Beschreibung und Planung dieser Details muss vor der Verarbeitung auf der Baustelle bereits erfolgt sein, nachvollziehbar dargestellt sowie handwerklich ausführbar und technisch wie wirtschaftlich vertretbar sein.<sup>61</sup> Verschiedene für den Aufbau der Systeme relevante Detaillösungen wurden bereits in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt (z. B. Dübel- und andere Befestigungslösungen, Putzvarianten usw.) Die im Nachfolgenden dargestellten Lösungen beziehen sich auf die Bereiche Armierung/Kantenschutz, Dachanschlüsse und Sockelzone und wurden anhand

<sup>61</sup> Riedel et al. 2007, S. 181.

der bereits entwickelten konstruktiven Aufbauten (Konstruktionstyp 1: monolithische Schilfrohrplatte mit Stufenfalz, Konstruktionstyp 2: Stegträgersystem) sowie durch Adaption bestehender Systemlösungen (z. B. Fa. Lignotrend) erarbeitet.

#### 4.6.1. Armierung und Kantenschutz

Anforderungen an die Armierung sowie im Besonderen an den Kantenschutz eines WDVS können auf Basis der verwendeten Oberflächenbeschichtung ermittelt werden, da diese als äußerer Abschluss der Fassade allen direkten mechanischen Belastungen durch äußere Einflüsse sowie Oberflächenspannungen durch thermische Einwirkungen standhalten muss. Speziell bei Dünnschichtputzen (z. B. Zementputze, Kunstharzputze) mit sehr geringen Schichtstärken von  $< 1$  cm ist trotz umfangreicher Armierungsmaßnahmen die Gefahr von Beschädigungen durch mechanische wie thermische Ursachen sehr hoch (siehe Abbildung 99). Die Sanierung solcher Beschädigungen gestaltet sich bei Dünnschichtputzen zudem äußerst aufwendig, da die sehr geringe Putzschichtdicke mit dem eingelagerten Armierungsgewebe quasi eine Einheit bildet und daher keine oberflächliche Ausbesserung zulässt. So müssen Putzsegmente großflächig förmlich herausgeschnitten und anschließend die gesamten Lagen neu hergestellt werden.



Abbildung 99: Mechanische Beschädigung eines Dünnschichtputzes durch Spechte<sup>62</sup>

#### Armierungslösungen für Neubau und Sanierung

Bei den entwickelten Wärmedämm-Verbundsystemen kann in Neubausituationen aufgrund des optimierten Wandschichtaufbaus aus Schilfrohrplatten und Kalkputzen in der Regel auf eine vollflächige Armierung verzichtet werden, da die Oberfläche der Schilfrohrplatten bereits einen guten Putzträger darstellt und daher eine sehr effektive Druckfestigkeit des gesamten Aufbaus erzeugt werden kann. Lediglich bei sehr inhomogenem Mischmauerwerk als konstruktivem Untergrund, das nur bei Sanierungsfällen anzutreffen ist, wird zur Verwendung einer vollflächigen Armierung bereits in der untersten Schicht der Putzebene geraten, falls der Fassadenaufbau keine weiteren Elemente als Zwischenschicht (z. B. Schilfrohrplatte)

<sup>62</sup> <http://www.konrad-fischer-info.de>; 25.03.2010.

vorsieht. Weiters ist die Anwendung bei Materialübergängen und kleinen Hohlräumen (z. B. Spalten im Mauerwerk, die mit Putz gefüllt werden) zu empfehlen.

Grundsätzlich kann materialeitig zwischen folgenden Armierungstypen unterschieden werden:

- Imprägnierte Glasfasergewebe
- Korrosionsgeschützte Metallgitter

Bereits während der Datenerhebung zu Projektbeginn wurde festgestellt, dass in Verbindung mit Schilfdämmung häufig auf korrosionsgeschütztes Drahtgewebe als Armierung von Kalkputzen zurückgegriffen wird. Dies lässt sich vor allem durch die einfache Art der Anbringung begründen (Metallgitter werden direkt auf die Schilfrohrplatten geklammert). Da die Armierungsebene bei korrektem Einbau etwa im oberen Drittel der Putzschicht liegen sollte,<sup>63</sup> kann das Metallgitter mittels Abstandhalter in die gewünschte Position gebracht werden, bevor der Putzauftrag erfolgt (siehe Abbildung 100). Einen deutlichen Mehraufwand verursacht hingegen die Verwendung einer Glasfasergewebearmierung, da aufgrund der fehlenden Eigensteifigkeit des Gewebes im Verhältnis zum Metallgitter die Einbringung erst nach erfolgtem Spritzbewurf erfolgen kann und einen deutlich höheren Arbeitsaufwand zur Folge hat.



Abbildung 100: Links: Befestigung des Metallgitters mittels Klammerung. Rechts: Metallgitter nach Putzabschlag

### **Kantenschutz an Wandöffnungen und Gebäudeecken**

Besondere Beachtung sollte stets der Kantenschutz im Bereich von Fenster- und Türöffnungen finden, wo aufgrund der typischerweise überdurchschnittlichen Schichtdicke von Kalkputzen zur statischen Lastabtragung eine Diagonalarmierung (z. B. mittels sogenannter Armierungspfeile) eingearbeitet werden muss, um Deckenschubrisse zu vermeiden.

---

<sup>63</sup> Vgl. Frössel 2003, S. 106.



Abbildung 101: Links: Diagonalbewehrung in einer Fensteröffnung; Rechts: Diagonalbewehrungspfeile<sup>64</sup>

Verstärkte konstruktive Schutzmaßnahmen benötigen außerdem die Gebäudekanten aufgrund erhöhter Gefährdung durch mechanische Beschädigungen. Bei Wärmedämm-Verbundsystemen ist daher stets auf eine Verstärkung der äußersten Abschlussebene zu achten. Dabei sind auch gestalterische Aspekte zu beachten, beispielsweise sind Materialwechsel durch oberflächlich aufgebrachte Leisten in der Regel unerwünscht. Bei Verwendung von Kalkputzen wurde traditionell dennoch häufig diese Lösung angewendet, was meist durch die Verwendung von Kalkputzen mit geringem oder gar keinem hydraulischen Anteil (Sumpfkalk, Luftkalk) und die damit verbundene eher geringe Druckfestigkeit erklärt werden kann.

Zur konstruktiven Verstärkung können aufgrund der in diesem Projekt verwendeten Kalkputzvarianten mit entsprechend hoher Druckfestigkeit folgende, direkt in die Putzschicht einzubringende sowie marktgängige Kantenschutzvarianten Anwendung finden:

- Kantenschutzprofil aus korrosionsgeschütztem Metall
- Kunststoffnetz mit Kunststoff-Eckprofil

Grundsätzlich kommen beide Varianten für die Anwendung in den entwickelten Schilfdämmsystemen in Frage, jedoch ist bei höheren Putzstärken (> 3 cm) sowie bei der Variante „Luftporenkalkputz“ und allen Wärmedämmputzen aufgrund der geringeren Festigkeitswerte die Verwendung des deutlich stabileren Metallprofils empfehlenswert. Der Vorteil des Kunststoffprofils liegt in der einfacheren Einarbeitung, da das weitflächige Gewebe sehr leichtgängig in den feuchten Putz eingepresst werden kann, während das Metallprofil an der Unterkonstruktion befestigt werden sollte (siehe Abbildung 102), um ein Abrutschen zu verhindern.

<sup>64</sup> <http://www.brilllux.de>; 20.03.2010.

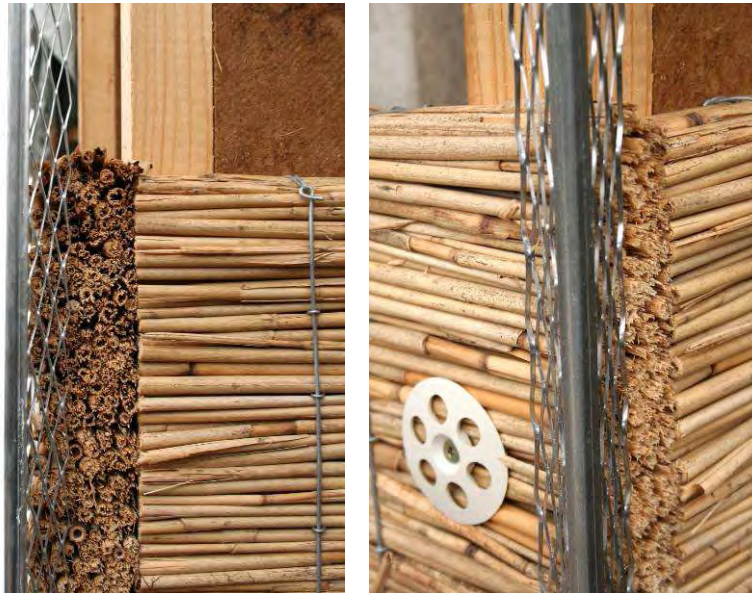


Abbildung 102: Kantenschutzprofil aus Metall vor der Putzaufbringung

Bei Konstruktionstyp 2 gelten an die Holzunterkonstruktion im Gegensatz zu Konstruktionstyp 1 zusätzliche Anforderungen, da die an der Wand montierten Stegträger durch das reguläre Befestigungsverfahren keine gemeinsame Ecke ausbilden. Um einen bündigen Außenanschluss um die Gebäudeecke herum zu erzeugen, ist es daher notwendig, eine Sonderlösung anzuwenden, die in der nachfolgenden Plandarstellung gezeigt wird.

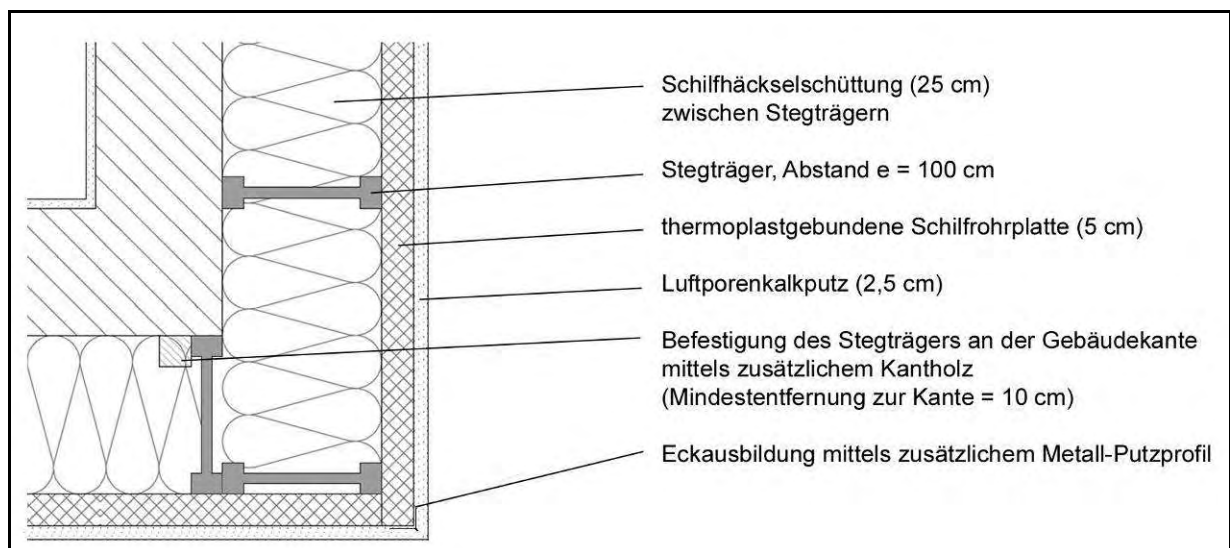


Abbildung 103: Konstruktive Ausbildung der Gebäudeecke bei Konstruktionstyp 2<sup>65</sup>

Die Verbindung zweier Stegträger zu einem L-förmigen Element erfolgt über reguläre Schraubverbindungen. Zu beachten ist außerdem die gesonderte Befestigung dieses Stegträgers seitlich über ein Kantholz, welches mit einem Mindestabstand von 10 cm zur Gebäudekante im Mauerwerk befestigt wird. Diese Maßnahme stellt die Auszugsfestigkeit

<sup>65</sup> Überarbeitete Darstellung basierend auf <http://www.lignotrend.de>; 15.02.2010

der Dübelverbindung an dieser mit besonders hoher Krafteinwirkung belasteten Stelle der Mauer sicher.

### Kantenschutz im Sockelbereich

Um Übergänge zwischen verschiedenartigen Bauteilabmessungen (z. B. Abtreppungen) in der Putzschicht fließend zu gestalten oder auf Oberflächen mit unzureichender Haftfestigkeit in kurzen Abschnitten einen stufenlosen Übergang der Putzschicht zu realisieren, wurde traditionell auf das sogenannte „Ziegelrabit“ zurückgegriffen. Dieses mit kleinformatischen, gebrannten Tonkreuzen versehene Metallgitter kann direkt auf die Schilfrohrplatten oder die Holzkonstruktion geklammert werden und z. B. Übergänge von der Dämmschicht zu Fenster- und Sockelprofilen herstellen sowie die Putzschicht um Bauteilecken herumführen (siehe Abbildung 104)



Abbildung 104: Links: Ziegelrabit aufgerollt.<sup>66</sup> Mitte und Rechts: Sockelprofile mit verputztem Ziegelrabit-Armierungsgewebe

Für die entwickelten Konstruktionstypen scheint diese Lösung aufgrund der hohen Putzschichtstärken ebenso geeignet wie die Verwendung der bereits vorhin dargestellten korrosionsgeschützten Metallprofile. Jedoch ist sie nur geeignet, wenn die Putzträgerplatte nach Möglichkeit bis zur Unterkante des gesamten Fassadenaufbaus gezogen werden kann bzw. das Sockelprofil ein Auflager für den Putz ausbildet (siehe Abbildung 105) und somit kein zusätzliches haftvermittelndes Gewebe benötigt wird.



Abbildung 105: Sockelabschluss mittels Putzprofil aus korrosionsbeständigem Metall

<sup>66</sup> <http://www.kalkladen.de>; 24.03.2010.



#### 4.6.2. Dachanschlüsse (Trauf- und Giebelbereich)

##### **Sanierung – Konstruktionstyp 1**

Aufgrund des im Vergleich zur drahtgebundenen Schilfrohrplatte einfachen Zuschnitts ermöglicht die entwickelte thermoplastgebundene Dämmstoffplatte eine präzise Ausführung von diagonal verlaufenden Schnittkanten und somit eine den Anforderungen entsprechende Detailausführung im Giebel- sowie Traufkantenbereich (siehe auch Kapitel 4.2.1).

Bauphysikalische Probleme durch Lufteinschlüsse oder Wärmebrücken aufgrund mangelhafter Materialeigenschaften des Dämmstoffs können also ausgeschlossen werden. Aufgrund der insgesamt sehr geringen Schichtstärke des Dämmschichtaufbaus können aus statischer Sicht die Belastungen im Bereich des Bauteilübergangs bei korrekt ausgeführtem Bauteilstoß als unbedenklich angenommen werden und bedürfen keiner eingehenderen Betrachtung.

Bei der Ausführung der horizontalen Kalkputz-Abschlusskante muss auf die gesondert im Zusammenhang mit der Armierung (Kap. 4.6.1) bereits beschriebenen Kriterien zur rissfreien Ausführung eines Bauteilübergangs Rücksicht genommen werden, da sonst bei unsachgemäßer Ausführung die Gefahr von auftretenden Horizontalrissen innerhalb der Putzschicht besteht.<sup>67</sup>

##### **Neubau – Konstruktionstyp 2**

Höhere Dämmstärken der Außenwände müssen auch im Dachbereich entsprechend umgesetzt werden, um eine gleichmäßige Isolation des gesamten Gebäudekerns zu gewährleisten. Dadurch ergeben sich automatisch höhere Anforderungen an die Statik sowie für eine rissfreie Fassadenoberfläche.

Die gängigen Varianten zur Dämmung von Satteldächern, die nachfolgend als Standard gelten sollen, sind Unter-, Zwischen- und Aufsparrendämmung. Das bei Konstruktionstyp 2 verwendete Stegträgersystem für die Dämmung von Außenwänden bietet sich auch für die Anwendung im Dachbereich an. Somit kann eine in ihrem konstruktiven Aufbau sowie ihren Dimensionen äußerst homogene Dämmschicht mit präziser Detailausbildung um die Gebäudekante geführt werden. Eine mögliche Planungsgrundlage dieses Anschlussdetails ist in der nachfolgenden Darstellung zu sehen.

---

<sup>67</sup> Riedel et al. 2007, S. 267.

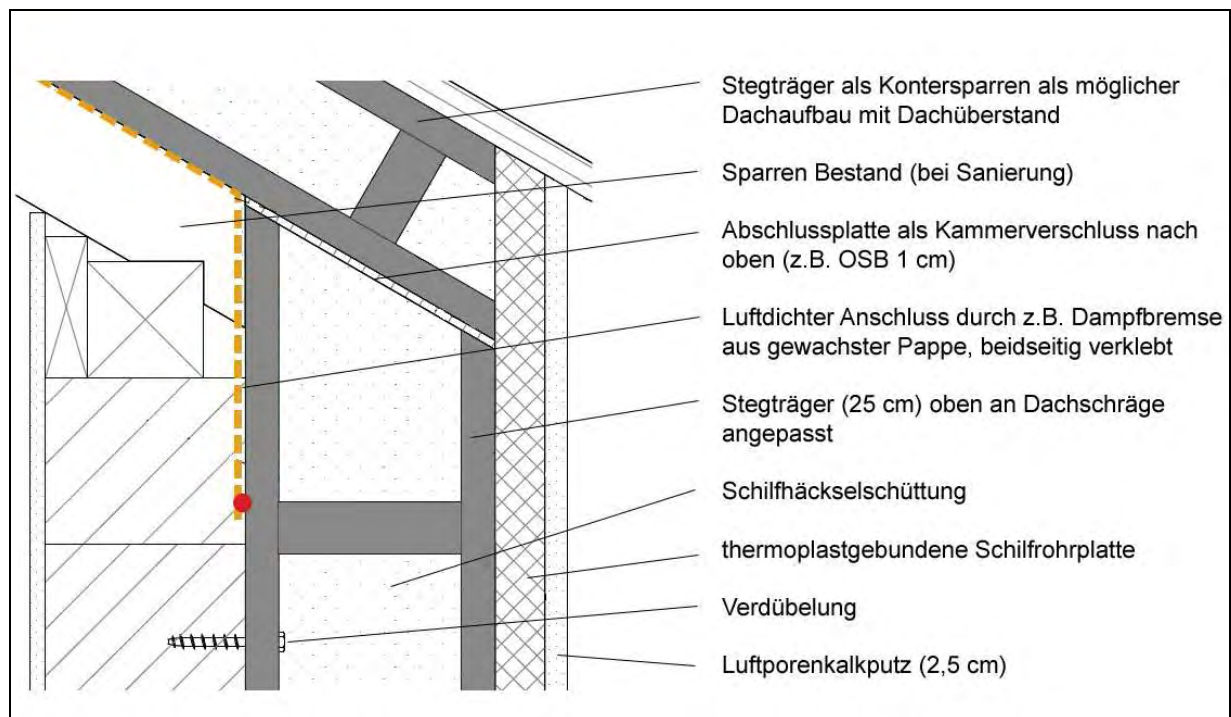


Abbildung 106: Dachanschluss der Stegträgerkonstruktion an einem Satteldach<sup>68</sup>

Die konstruktive Ausbildung des Übergangs von der Außenwand zum Dach hin ist besonders sorgfältig zu planen und auszuführen, da hier ein jeweils sehr unterschiedliches Lastprofil angenommen werden muss (Biegebeanspruchung durch seitliche Windlasten und vertikale Last in der Wand, Scherkräfte durch schräg eingeleitete Dachlasten in der Dachunterkonstruktion). Neben einer erwünschten Rissfreiheit in der Fassadenoberfläche ist vor allem bei NEH- und PH-Standards auf eine lückenlos ausgeführte luftdichte Ebene zu achten. Diese kann, wie in Abbildung 106 dargestellt, an der Oberseite der primären Tragkonstruktion (Beton- oder Ziegelwand bzw. Holzständerkonstruktion sowie oberseitig vollverschaltete Sparren) geführt werden. Somit ist einerseits der konstruktive Schutz vor Beschädigungen dieser Schicht gewährleistet und andererseits keine Gefährdung durch im äußeren Bereich der Fassadenkonstruktion möglicherweise auftretende Schubspannungen des Dachanschlusses zu erwarten.

Bei der Anwendung des Stegträgersystems für NEH- und PH-Standards muss außerdem auf die korrekte Ausbildung des oberen Gefachabschlusses der mit Schilfhäcksel gefüllten Kammern geachtet werden. Hier kann eine dünne wasserabweisende Werkstoffplatte (z. B. OSB) verwendet werden, die zwischen dem oberen Ende der vertikalen Stegträger im Wandbereich und dem unteren Abschluss der Stegträger im Dachbereich angebracht wird und bündig von beiden Seiten mit der Wand verklebt wird, sodass es zu keinen Undichtigkeiten aufgrund offener Spalten kommen kann.

#### 4.6.3. Sockel

Die Verwendung einer primären Tragstruktur aus Holz oder Holzwerkstoffen erfordert im Hochbau eine fäulnisresistente Ausbildung der gesamten Sockelzone, um eine „trockene

<sup>68</sup> Überarbeitete Darstellung basierend auf <http://www.lignotrend.de>; 17.02.2010

Gründung“ zu ermöglichen und die statisch aktive Holzkonstruktion vor Fäulnis zu schützen. Dies kann entweder durch Ausbildung eines Kellergeschoßes mittels Stahlbeton erfolgen oder durch eine minimale Gründung bzw. Fundamentierung mittels Punktfundamenten, die das Gebäude insgesamt sozusagen vom Boden abheben und damit im Vergleich zur Ausbildung eines Kellergeschoßes eine deutliche Materialersparnis bedeuten sowie eine allseitig gleichmäßig um das Gebäude geführte Dämmschicht ermöglichen. Dieses Grundkonzept wurde bereits im Demonstrationsgebäude S-HOUSE erfolgreich umgesetzt (siehe Abbildung 107), wobei die vertikale Lastabtragung auf möglichst wenige Punktfundamente reduziert wurde.<sup>69</sup>



Abbildung 107: Punktfundament-Säulen aus Stahlbeton unter dem Rohbau des S-HOUSE

Ist eine solche Fundamentierung nicht möglich oder sinnvoll, so muss im Bereich erdberührter Außenwände eine Dämmschicht angebracht werden. Diese hat vielfältige Anforderungen zu erfüllen. Der eingesetzte Dämmstoff benötigt eine hohe Druckstabilität und muss außerdem resistent gegen Feuchtigkeit, Verrottung sowie gegen Schädlinge sein. Doch darf aufgrund dieser zusätzlichen Erfordernisse keinesfalls die Dämmwirkung vernachlässigt werden, wodurch eine Schwachstelle in der das Gebäude umschließenden Isolationsebene entstehen würde.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind nicht verrottungsresistent und können daher nicht im Perimeterbereich eingesetzt werden. Die derzeit marktgängigen Varianten sind:

- Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)
- Polyurethan-Hartschaum (PUR)
- Glasschaum

Ein direkter Vorteil von Glasschaum im Vergleich zu den auf Mineralöl basierenden Varianten liegt vor allem im deutlich geringeren Primärenergiebedarf des Produktionsprozesses, da für die Herstellung Altglas wiederverwertet und somit die Wertstoffkreisläufe nicht negativ belastet werden. In Polystyrol-Dämmstoffen sind darüber hinaus bromierte Flammschutzmittel enthalten, die zu den sogenannten PBT-Stoffen zählen – Persistent, Bioakkumulierend und Toxisch – und daher bei ihrer Verarbeitung Risiken für

<sup>69</sup> Vgl. Wimmer et al. 2006.

Mensch und Umwelt darstellen. Sie sind für Gewässerorganismen akut toxisch und an mehreren Stellen der Nahrungskette bereits nachgewiesen.<sup>70</sup>

Aufgrund des guten ökologischen Profils sowie der grundsätzlichen Eignung für die entwickelten Wärmedämm-Verbundsysteme kann die Glasschaumplatte daher als optimale Variante für die Dämmung der erdberührten Außenwandbereiche gesehen werden.



Abbildung 108: Links: Glasschaumplatte<sup>71</sup>. Rechts: Anbringung der Glasschaumplatten<sup>72</sup>

### Lösungen für Konstruktionstyp 1

In Verbindung mit dem entwickelten Konstruktionstyp 1 für Mindestdämmstandards und Sanierung bietet sich die Verwendung monolithischer Platten mit derselben Schichtstärke wie die oberhalb der erdberührten Außenbauteile verwendete Schilfrohrplatte (10 cm) an. Glasschaumplatten sind von mehreren Anbietern in Dicken zwischen 40 und 120 mm mit Abstufungen von 20 mm erhältlich. Dies ermöglicht entweder eine stufenlose Fassadenoberfläche bei Verwendung von 100mm-Platten oder eine bewusste Abstufung mit erhöhter Putzschichtdicke über der Sockelzone (z. B. bei Verwendung von Wärmedämmputzen).

Die folgende Abbildung zeigt einen typischen Aufbau für den beschriebenen Übergang von der Fassaden- in die Perimeterdämmschicht.

<sup>70</sup> Umweltbundesamt Deutschland 2008.

<sup>71</sup> Fa. Glapor.

<sup>72</sup> Fa. Deutsche Foamglas GmbH.

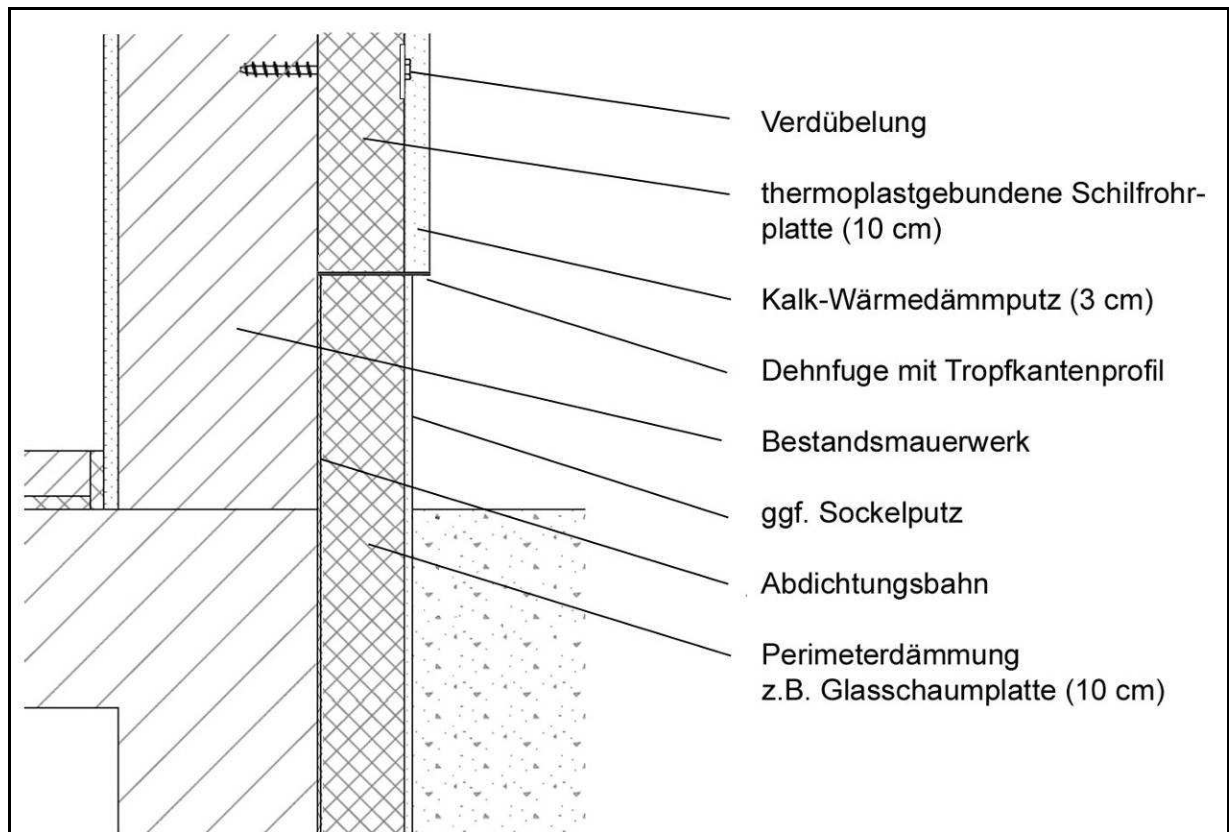


Abbildung 109: Konstruktionsdetail „Sockelzone Konstruktionstyp 1“

## Lösungen für Konstruktionstyp 2

Für die Ausbildung der Perimeterdämmung für Konstruktionstyp 2 müssen aufgrund der erhöhten Dämmschichtstärke mehrere Platten eingesetzt werden. Glasschaumplatten können mittels eines mineralischen Klebers vollflächig verklebt sowie stumpf gestoßen werden. Durch die mittlere Rohdichte von  $100 \text{ kg/m}^3$  sowie die hohe Druckfestigkeit von bis zu  $0,4 \text{ N/mm}^2$  kann der vertikale Anschluss zwischen Stegträgern und Perimeterdämmung ohne Dehnfuge erfolgen.<sup>73</sup>

Die folgende Abbildung veranschaulicht den für Konstruktionstyp 2 vorgesehenen konstruktiven Übergang zwischen Fassadendämmebene mit Stegträgern sowie dazwischenliegender Schilfhäckselschüttung und der Perimeterdämmung.

<sup>73</sup> Materialkennwerte: Fa. Deutsche Foamglas GmbH.

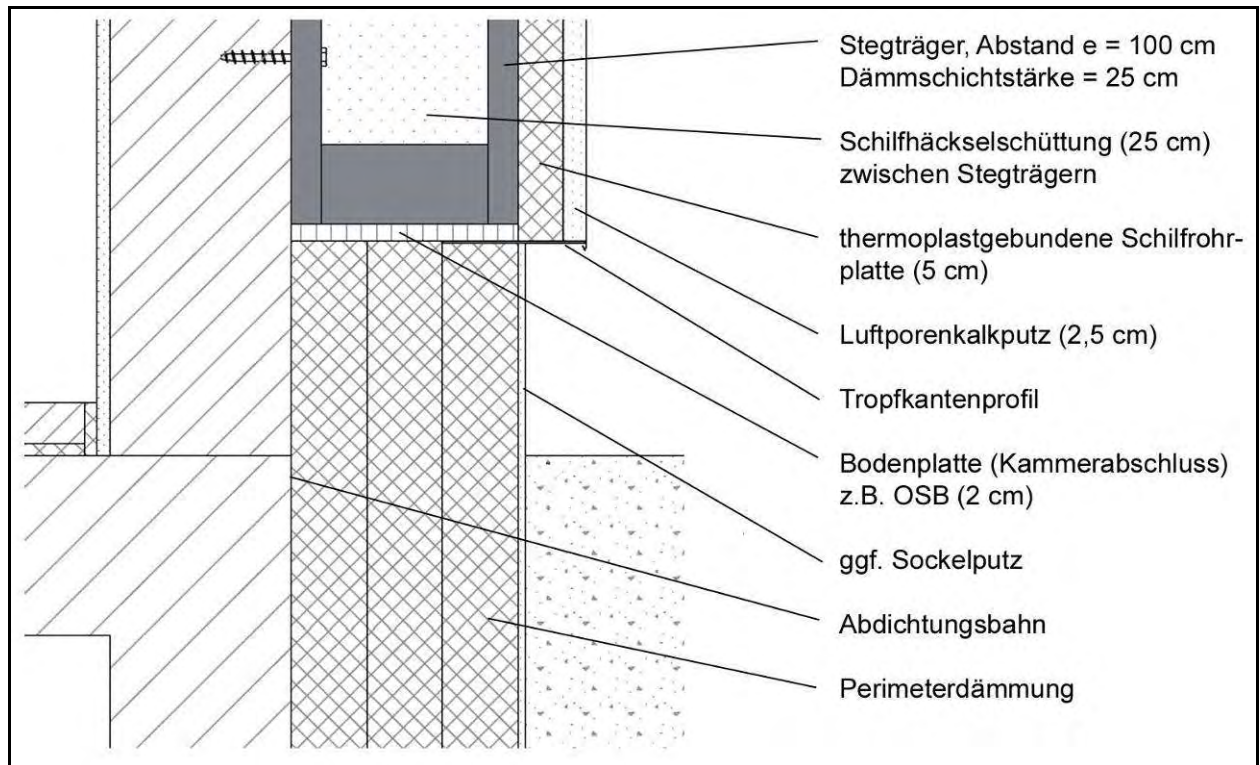


Abbildung 110: Konstruktionsdetail „Sockelzone Konstruktionstyp 2“

Diese Detaillösungen zeigen bei unterschiedlichen Wand-Unterkonstruktionen aufgrund des zu erwartenden identischen Unterbaus (Kellerausbildung) keinen Änderungsbedarf und können sowohl für Stahlbeton als auch für Ziegelmauerwerk Verwendung finden.

Um eine bauphysikalische Unbedenklichkeit dieser Sockelausformung zu gewährleisten, wurden Simulationen des langfristigen Feuchtigkeitsverhaltens für den gewählten Schichtaufbau durchgeführt. In der nachfolgenden Darstellung kann der Verlauf der Feuchtigkeitswerte aller beteiligten Schichten (Wand, Schilfhäcksel-schüttung, Schilfrohrplatte) in der untersten Ebene der Schüttung, also direkt über der horizontal verlaufenden OSB-Platte, ersehen werden.

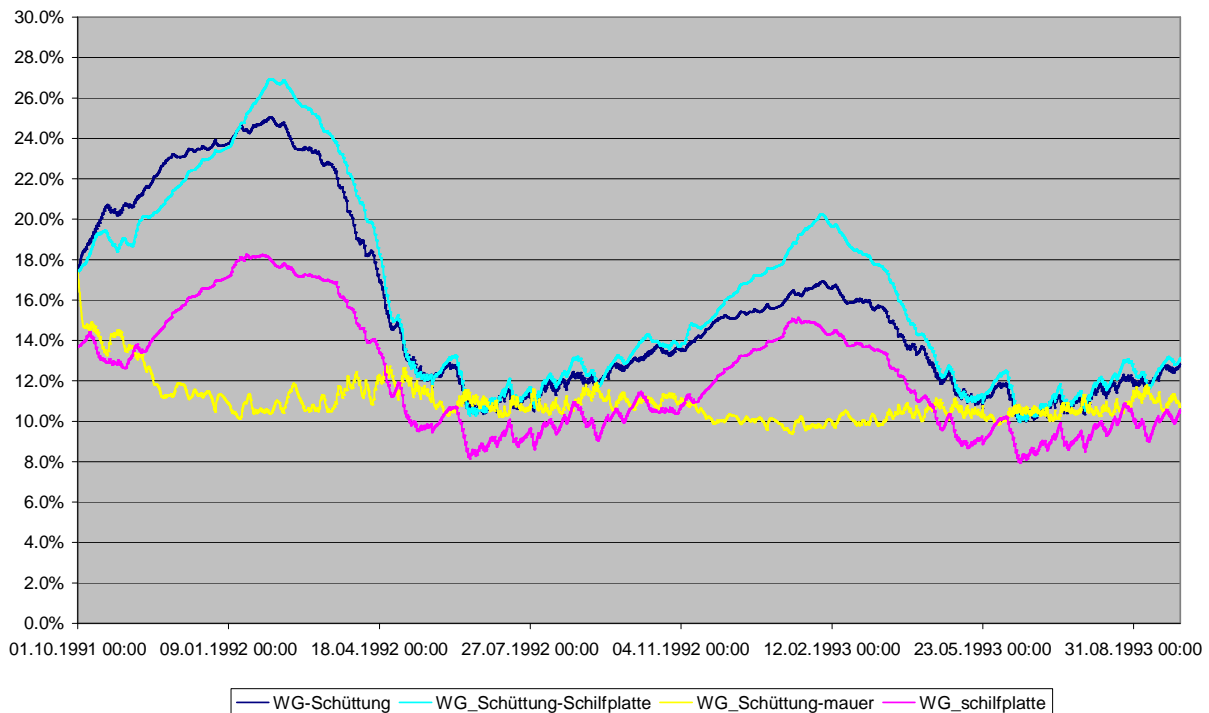


Abbildung 111: Simulation des feuchtespezifischen Langzeitverhaltens im Sockelbereich bei Konstruktionstyp 2 (Quelle: IBO)

Während in der Winterperiode des ersten Jahres erhöhte Werte von bis zu 27 % r.F. in der Übergangsschicht zwischen Schüttung und Schilfplatte zu erwarten sind, stellt sich laut der Simulation bis in die Sommermonate eine Ausgleichsfeuchte von 8 bis 12 % in allen Schichten ein. Da auch im nachfolgenden Winter die Werte im Durchschnitt nur auf 14 bis 16 % sowie kurzzeitig auf maximal 20 % (und dies auch nur in der Grenzschicht zwischen Schüttung und Schilfplatte) steigen, kann die Konstruktion als feuchtespezifisch unbedenklich angesehen werden.

Die technischen Detaillösungen bilden den Abschluss des Kapitels zur Entwicklung eines Wärmedämm-Verbundsystems für Außendämmung. Konstruktionstypen mit verschiedenen Befestigungslösungen und Dämmstoffvarianten wurden getestet und ausgewählt, Beschichtungssysteme miteinander verglichen und Detaillösungen für ausgewählte Bereiche dargestellt. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Forschungsphase können im nächsten Kapitel konkrete Weiterentwicklungspotenziale formuliert werden.

## 4.7. Weiterentwicklungspotenzial der Außendämmung

### 4.7.1. Konstruktionstyp 1 – Verdübelung von Schilfrohrplatten

Die meisten Möglichkeiten, Konstruktionstyp 1 weiterzuentwickeln, bestehen hinsichtlich der Optimierung der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten, z. B. durch Erhöhung der Dichte

und der Dämmstärke. Diese Optimierungspotenziale wurden bereits in Kap. 3.5 dargestellt. Sobald Verbesserungen der Platten vorgenommen wurden, ist zu überlegen, wie sich z. B. die veränderte Dämmstärke auf die Anbringung der Platten auswirkt. Eventuell müssen andere Dübellösungen oder alternative Befestigungsmöglichkeiten entwickelt werden, um stärkere Platten zu fixieren.

Weiters ist die Nutzung dieses Konstruktionstyps für spezielle Anwendungsfälle zu überlegen, etwa zur Rekonstruktion denkmalgeschützter Fassaden. Beispielsweise werden Abtreppungen bisher eher mit der Putzschicht erzeugt; alternativ könnten bereits die Schilfrohrplatten (z. B. durch Fräsen) im Vorhinein auf die gewünschte Struktur zugeschnitten werden. Inwiefern eine solche Bearbeitung mit den thermoplastgebundenen Platten möglich ist, wäre zu überprüfen; im Vergleich zur drahtgebundenen Platte bestehen hier aber bereits größere Bearbeitungsspielräume.

Auch die Anwendung als Aufsparrendämmung ist eine weitere Möglichkeit dieses Konstruktionstyps. In diesem Bereich sind größere Lasten sowie Scherbeanspruchung und die Temperaturentwicklung im Aufbau wichtige Kriterien, auf welche die entwickelten Schilfrohrplatten untersucht und weiterentwickelt werden können. Eventuell ist hier auch die Herstellung größerer Platten notwendig.

#### **4.7.2. Konstruktionstyp 2 – Holzkonstruktion mit losem Schilf**

Ziel für die Dämmung mit Schilfhäcksel ist die Einbringung in die Stegträgerkonstruktion mittels Einblasen (wie es derzeit auch bereits z. B. mit Zellulosedämmung geschieht). Damit können Hohlräume und Ecken fugenlos und homogen ausgefüllt werden. Zu untersuchen ist dafür, wie bei der Einblasdämmung mit Schilfhäcksel die erforderliche Dichte von rund  $150 \text{ kg/m}^3$  erreicht werden kann. Geeignete Technologien zum Einblasen der Schilfhäcksel in vertikale und horizontale Hohlräume sowie Dachschrägen sollen entwickelt werden.

Um eine bessere Druckverteilung bei der Anbringung der Putzträgerplatten zu ermöglichen, sollen höhere Dichten der thermoplastgebundenen Platten angestrebt oder alternative Befestigungsmöglichkeiten anstelle der Verdübelung an der Stegträgerkonstruktion geprüft werden.

#### **4.7.3. Sonderfall lasttragende Strohballenwand**

Neben der Verwendung der konventionellen drahtgebundenen Schilfrohrplatte kann auch die neu entwickelte, thermoplastgebundene Schilfrohrplatte in diesem konstruktiven Sonderfall Anwendung finden. Vorteile brächte die Platte durch noch genauere Plattenstöße und den einfachen Zuschnitt bei Maueröffnungen etc. Da im Projektverlauf jedoch keine thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten mit den für diesen Fall notwendigen Abmessungen hergestellt wurden, kann über die Eignung noch kein vollständiges Bild gemacht werden.

#### **4.7.4. Abschlussbeschichtung – Kalkputze**

Die Auswahl von wärmedämmenden Kalkputzen, wie sie hier getroffen wurde, bietet prinzipiell die Möglichkeit, die Dämmschicht an jenen Stellen zu ergänzen, die durch die



Dämmplatten nicht vollständig abgedeckt sind, z. B. bei Fensteranschlüssen. Um hier mit dem Putz eine gleichmäßige wärmedämmende Schicht zu erzeugen ist aber eine Verbesserung der Modellierbarkeit notwendig, sodass der Kalkputz in seiner Formgebung an die unterschiedliche Untergrundstruktur angepasst werden kann.

## 5. Innendämmung – Entwicklung eines Trockenausbau-Elements

### 5.1. Anforderungsprofil

Eine Innendämmung kommt als Alternative zur Außendämmung in Betracht, wenn eine Veränderung der Fassade aus Gründen des Denkmalschutzes nicht möglich ist; auch wenn Abstände, z. B. Grundstücksgrenzen, eingehalten werden müssen, kann die Möglichkeit einer Außendämmung entfallen. Zusätzlich bietet sich eine Innendämmung an, wenn nur einzelne Teile des Gebäudes saniert werden (z. B. einzelne Wohneinheiten), wenn nur bestimmte Teile öfter genutzt werden (z. B. bei Kirchen) oder wenn das Gebäude nicht ständig genutzt wird (z. B. Wochenendhäuser, Versammlungsräume). In diesem Fall hat eine Dämmung auf der Innenseite der Wände den Vorteil, dass die Räume schnell aufgeheizt werden und dafür auch weniger Heizenergie benötigen. Wird eine Wandheizung installiert, ist eine Innendämmung sogar notwendig, um die Wärmeabgabe nach außen zu verhindern. Eine Wandheizung sorgt darüber hinaus für ein angenehmes Raumklima und gefühlte höhere Temperaturen selbst bei niedrigerer Raumlufttemperatur, wodurch bis zu 15 % Energiekosten eingespart und CO<sub>2</sub>-Emissionen verringert werden können.

Innendämmungen stellen vor allem feuchtphysikalisch eine Herausforderung an Planung und Ausführung dar, daher ist systematisches Vorgehen notwendig, z. B. anhand von einschlägigen Normen oder dem Planungsleitfaden der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.<sup>74</sup>

Ein zentrales Problem ist die Gefahr von Tauwasserbildung an der Grenze zwischen Dämmschicht und Außenwand durch Wasserdampfdiffusion und die Verschiebung des Taupunkts in Richtung Innenwand während kälterer Jahreszeiten (vgl. Kap. 2.1). Das Mauerwerk wird infolgedessen anfällig für Schimmelpilzbildung, Frost und Rissbildung. Um Tauwasserausfall zu verhindern, muss einerseits der Diffusionswiderstand des Innendämmsystems auf ein zulässiges Maß eingestellt werden (z. B. durch eine Dampfbremse) und andererseits eine hohlraumfreie Verarbeitung der Innendämmung geschaffen werden (um Tauwasserausfall infolge von Konvektion zu vermeiden).<sup>75</sup> Auch das Austrocknungsverhalten, z. B. nach Schlagregen, ist zu berücksichtigen. Bei diffusionsoffenen und sorptionsfähigen Materialien wie Schilf in Verbindung mit Lehm- oder Kalkputzen wird das Trocknungsverhalten generell verbessert.

Schilfrohr findet derzeit in Form von drahtgebundenen Platten mit und ohne Wandheizungssystemen Verwendung in der Innendämmung (siehe Abbildung 112).

---

<sup>74</sup> WTA 2009.

<sup>75</sup> WTA 2009, S. 7f.



Abbildung 112: Links: Schilfrohrplatten als Innendämmung<sup>76</sup> Rechts: Schilfrohrplatten und Wandheizung<sup>77</sup>

Dabei wird bisher prinzipiell die gesamte Dämmschicht angebracht, bevor der Putz aufgetragen wird. Diese Vorgehensweise ist nicht unproblematisch, wenn man die lange Austrocknungszeit des Kalkputzes bedenkt, während der eine Benutzung der Innenräume nicht möglich ist.

Sinnvoller wäre daher die Herstellung von Trockenausbau-Elementen, die Dämmplatte und Putz (und evtl. ein Wandheizsystem) bereits vor dem Einbau integrieren. Dabei ist es notwendig, das Gewicht dieses Elements gering zu halten, um die Anbringung zu erleichtern. Die Putzschicht sollte daher nicht zu dick sein; allerdings ist bei der Integration einer Wandheizung zu beachten, dass die Rohre, die auf der Dämmplatte montiert werden, von der Putzschicht vollständig bedeckt sein müssen, da der Putz als Wärmeleiter dient. Bei einem Rohrdurchmesser von 1,5 cm bedeutet das eine notwendige Putzschicht von rund 3 cm. Damit erhöht sich auch das Gewicht des gesamten Elements.

Weiter ist eine gewisse Steifigkeit des Gesamtsystems anzustreben, um den aufgetragenen Putz beim Transport und Einbau nicht zu beschädigen.

Ein Nachteil, der sich durch die Verwendung solcher vorgefertigten Trockenausbau-Elemente ergibt, ist, dass sie nur an flache Wände und nicht z. B. an einem Gewölbe angebracht werden können. Für solche speziellen Anwendungsfälle eignet sich noch immer das derzeitige System (Anbringung der Dämmplatten vor dem Putzauftrag) am besten.

<b>Innendämmsysteme mit Schilfplatten</b> <b>(Aufbau: Anbringung der Dämmschicht und nachträglicher Putzauftrag)</b>		
	<b>Qualitative Bewertung</b>	<b>Lösungsansätze für Optimierung</b>
<b>U-Wert</b>	0,61 W/m <sup>2</sup> K (5 cm Schilfrohrplatte, Kalkputz)	Höhere Dämmstärken und Verbesserung durch Thermoputzauftrag
<b>Arbeitsaufwand</b>	- Mehrlagiger Putzauftrag notwendig - kein vorgefertigtes Gesamtsystem	Integrieren des Grundputzes auf der Platte; optional Integration einer Wandheizung; Zuschnitt flexibilisieren

Tabelle 32: Bewertung der derzeitigen Innendämmsysteme mit Schilfplatten

<sup>76</sup> Bild zur Verfügung gestellt von Bau Natürlich.

<sup>77</sup> Bild zur Verfügung gestellt von SERA Lizenzen.

## 5.2. Prototypenentwicklung

Als Schilfdämmplatten für die Prototypenentwicklung standen die derzeit erhältliche drahtgebundene Schilfrohrplatte, die Schilfgranulatplatte (für grundlegende Eigenschaften und Materialkennwerte vgl. Kapitel 2.2.2) zur Verfügung, außerdem die neu entwickelte thermoplastgebundene Platte (P.14), sowie der Prototyp aus Schilfhäcksel und wärmedämmendem Leichtputz (P.4) (vgl. Kap. 3.2.2).

Als Putzvarianten kamen der Kalkputz NHL 3,5, Lehmputz sowie Biatherm NHL 5 in Betracht. Details zu den verwendeten Kalkputzen finden sich im Kapitel 4.4.

Im Bereich der Wandheizsysteme erschienen nach einiger Recherche einerseits das WEM®-Element, andererseits das Rohrsystem REHAU als geeignet für die Anwendung in Trockenausbau-Elementen (Details siehe weiter unten).

	Draht- gebundene Schilfrohrplatte 5 cm	Schilfgranulat- platte 3 cm	Thermoplast- gebundene Schilfrohrplatte (P.14), 5 cm	Schilfhäcksel
<b>Putz</b>				
Kalkputz NHL 3,5 Baustellenmischung	x	x	-	-
Biatherm NHL 5	-	-	x	x
<b>Wandheizung</b>				
WEM®-Element	-	x	-	-
Rohrsystem REHAU	-	-	x	-

Tabelle 33: Prototypen für die Innendämmung (x zeigt hergestellte Kombinationen an)

### 5.2.1. Schilfrohrplatte und Kalkputz

Für diesen Versuchsaufbau wurde zunächst von einer handelsüblichen drahtgebundenen Schilfrohrplatte mit den Abmessungen 200 x 125 cm ausgegangen. Für die angestrebte Anwendung als Innendämmelement mit möglichst hohem Vorfertigungsgrad stellten sich diese Abmessungen jedoch aufgrund des insgesamt zu hohen Endgewichts und der hieraus zu erwartenden Unhandlichkeit als ungeeignet heraus. Aus diesem Grund wurde die Trägerplatte auf das für vergleichbare Produkte marktgängige Format von 100 x 60 cm verkleinert. In der folgenden Tabelle ist der Schichtaufbau des Prototyps dargestellt.

	Dichte	Schichtstärke
Schilfrohrplatte (drahtgebunden)	180 kg/m <sup>3</sup>	5 cm
Kalkputz NHL 5	1.800 kg/m <sup>3</sup>	0,5 cm
Kalkputz NHL 3,5 BSM	1.800 kg/m <sup>3</sup>	1,5 bis 2 cm

Tabelle 34: Zusammensetzung des Prototyps drahtgebundene Schilfrohrplatte / Kalkputz

## Putzauftrag und Aushärtung

Da der Putzauftrag in dem für Kalkputze typischen 3-Schicht-Aufbau zu erfolgen hatte, wurde die Trägerplatte zunächst mit reinem, naturhydraulisch abbindendem Kalkputz vom Typ NHL 5 in einer Schichtstärke von 0,5 cm beschichtet. Der anschließende Grundputzauftrag mit NHL 3,5 als Baustellenmischung mit einem Sandanteil von ca. 60 Gewichtsprozent erfolgte mit einer Schichtdicke zwischen 1,5 und 2 cm. Verarbeitung und Auftrag des Putzes konnten aufgrund der guten Haftung auf den Schilfrohren sehr schnell und ohne besondere handwerkliche Anforderungen in den gewünschten Schichtstärken durchgeführt werden.



Abbildung 113: Links: Prototyp während des Putzauftrags. Mitte: Prototyp nach der Aushärtung. Rechts: Seitenansicht der ausgehärteten Platte vor dem Zuschnitt

Die Aushärtungsphase verlief kalkputztypisch entsprechend der Regel: ein Tag pro Millimeter Putzschichtstärke. Nach vollständiger Aushärtung wies die Platte an der Oberfläche nur sehr feine Haarrisse auf, die bei Kalkputzen innerhalb der Grundputzschicht häufig anzutreffen sind<sup>78</sup> und nicht in Bezug auf die besondere Herstellungsweise gewertet werden können.

## Zuschnitt, Bohrung und Anbringung

Aufgrund der grundsätzlich ähnlichen Druckfestigkeitswerte von Trägerplatte und ausgehärteter Putzschicht zeigte der Prototyp sehr gute Eigenschaften bezüglich Zuschnitt und Bohrung. Schnittkanten konnten unter Beachtung der Drahtbindung sauber und bei nur geringem Abbrechen der Putzschicht hergestellt werden. Innerhalb der Putzschicht war es ebenfalls möglich, exakte Bohrlöcher zu setzen. Nur im darunterliegenden Bereich der Schilfrohrplatte wiesen die Bohrlöcher Ausfransungen auf, wie sie typischerweise in drahtgebundenen Platten auftreten (vgl. Kap. 4.2.1). Während der Befestigung der vorgebohrten Platte an der Holzunterkonstruktion mittels Holzschrauben und Dübeltellern traten jedoch an jeder Ecke Risse auf, welche auf eine insgesamt nicht ausreichende Druckfestigkeit des Prototyps zurückgeführt werden können.

<sup>78</sup> Vgl. Frössel 2003, S. 94.



Abbildung 114: Prototyp aus drahtgebundener Schilfrohrplatte und Kalkputzbeschichtung nach Befestigung mit sichtbaren Rissen an den Druckstellen

### Bewertung

Aufgrund der nur mangelhaften Druckfestigkeit in Querrichtung in Verbindung mit dem Nachteil der unflexiblen Drahtbindung der Schilfrohrplatte zeigt sich die gewählte Kombination als nicht geeignet für die Anwendung im Bereich der Innendämmung.

#### 5.2.2. Schilfgranulatplatte und Kalkputz

Der Versuchsaufbau sah vor, eine Schilfgranulatplatte als tragende Platte für eine ca. 2 cm starke Kalkputzschicht zu verwenden. Im Vordergrund dieser Versuchsreihe standen vor allem die Festigkeit der fertigen Platte und die Manipulierbarkeit (Zuschnitt, Bohrung etc.).

	Dichte	Schichtstärke
<b>Schilfgranulatplatte</b>	155 kg/m <sup>3</sup>	3 cm
<b>Kalkputz NHL 5</b>	1.800 kg/m <sup>3</sup>	0,5 cm
<b>Kalkputz NHL 3,5 BSM</b>	1.800 kg/m <sup>3</sup>	1,5 bis 2 cm

Tabelle 35: Aufbau des Prototyps Schilfgranulatplatte / Kalkputz

Für die Versuche mit Schilfgranulatplatten kamen unter anderem eigens hergestellte Prototypen zur Anwendung. Experimentell wurde versucht die Festigkeiten der Platten vor allem in Hinsicht der Durchbiegung zu verbessern. Dazu wurden beispielsweise ganze Schilfrohrhalme in die Matrix eingebettet (siehe Abbildung 115).



Abbildung 115: Adaptierte Schilfgranulatplatten

### Putzauftrag und Aushärtung

Als Haftgrundlage wurde jeweils eine Grundierungsschicht (Vorspritzer) mit naturhydraulischem Kalk NHL 5 vorgenommen. Der Grundputzauftrag in der gewünschten Schichtstärke aus naturhydraulischem Kalk NHL 3,5 als Baustellenmischung mit entsprechendem Sandanteil (vgl. Variante 5.2.1), erfolgte anschließend auf der leicht angetrockneten Haftgrundlage in einem Arbeitsgang. Das Aushärtungsverhalten der Kalkputzschicht zeigte zeitlich keine starken Abweichungen vom Normalfall. Jedoch wies die Platte nach vollständiger Erhärtung feine Risse in der Putzschicht auf (siehe Abbildung 116: Links), was aufgrund der horizontalen Lagerung der Platte nicht mit typischerweise auftretenden Schwundrissen in Verbindung gebracht werden kann. Daher muss als Grund eine starke Wasseraufnahme der Trägerplatte und eine somit nicht ausreichende Versorgung der Putzschicht mit Feuchtigkeit angenommen werden. Das Gesamtgewicht der Platte ist im Vergleich als überdurchschnittlich hoch zu werten, da der verwendete Kalkputz ohne Zusätze die Gesamtdichte der fertigen Platte auf ca.  $900 \text{ kg/m}^3$  steigen lässt, jedoch wirkt sich dieser Umstand wiederum positiv auf die Steifigkeit der fertigen Platte aus.



Abbildung 116: Links: Prototyp während des Putzauftrags – Spritzbewurf sowie Grundputz sind sichtbar. Mitte: Seitenansicht der ausgehärteten Platte vor dem Zuschnitt. Rechts: ausgehärtete Oberfläche mit leichten Rissen

### Zuschnitt, Bohrung und Anbringung

Der Zuschnitt des Prototyps war mittels einer Handkreissäge unproblematisch und sauber durchführbar (siehe Abbildung 117), auch die Bohrungen konnten sehr präzise und

formstabil sowie ohne größere Ausweitungen des Bohrlochs vorgenommen werden. Der Haftkontakt zwischen Trägerplatte und Putzschicht kann im ausgehärteten Zustand daher als sehr kräftig und belastbar gewertet werden.

Bei der Anbringung der Platte an einer Wandfläche zeigte sich die ungleichmäßige Festigkeit der beiden Schichten, da bei größerem Anpressdruck eine leichte Rissbildung in der Kalkputzschicht bei gleichbleibender deutlicher Querschnittsabnahme der Trägerplatte zu beobachten war.



Abbildung 117: Links und Mitte: Zuschnitt und Bohrung. Rechts: Befestigung des Prototyps an der Testwand mit Tellerdübeln

### **Bewertung**

Aufgrund der klaren und daher sehr effektiven Funktionstrennung zwischen effizienter Wärmedämmung und klimaregulierender Putzschicht kann die gewählte Kombination durchaus als geeignete Lösung für Innendämmplatten mit möglichst hohem Vorfertigungsgrad gesehen werden. Auch der Zuschnitt kann für jedes gewünschte Format erfolgen, ohne dadurch Qualitätseinbußen zu erzeugen.

Sollten jedoch höhere Putzschichtstärken gewünscht werden, ist es empfehlenswert, auf eine Putzvariante mit geringerer Dichte zurückzugreifen (vgl. auch Kap. 4.4).

### **5.2.3. Schilfgranulatplatte und WEM®-Element**

Bei diesem Prototyp wurde versucht, eine Schilfgranulatplatte mit einem WEM®-Klimaelement vom Typ MV-80 zu verbinden. Dieses Wandheizungselement besteht aus Kunststoff-Metall-Verbundrohren, die in einem auf beiden Seiten bewehrten Lehmputz mit Strohhäcksel integriert sind. Die Plattenstärke beträgt 2,5 cm, wodurch in Kombination mit der Schilfgranulatplatte eine gesamte Schichtstärke von ca. 5,5 cm erreicht wurde. Eine Verbundlösung zur Optimierung des Vorfertigungsgrades bei gleichzeitiger Kombination von Dämm- und Putzschicht mit integrierter Wandheizung erschien auch durch die fast identischen Plattenabmessungen der beiden Einzelkomponenten als sinnvoll.





Abbildung 118: Schilfgranulatplatte und WEM-Element

	Dichte	Schichtstärke
<b>Schilfgranulatplatte</b>	155 kg/m <sup>3</sup>	3 cm
<b>Lehmputz</b>	1.800 kg/m <sup>3</sup>	0,5 cm
<b>WEM®-Klimaelement MV-80</b>	ca. 1.440 kg/m <sup>3</sup>	2,5 cm

Tabelle 36: Aufbau des Prototyps Schilfgranulatplatte und WEM-Element

### Putzauftrag und Anbringung

Zur Verbindung der Schilfgranulatplatte mit der WEM-Wandheizungsplatte wurde Lehmputz verwendet. Dieser wurde vollflächig auf die Granulatplatte aufgetragen und an die vorgehängte WEM-Platte angebracht. Das Gesamtgewicht dieser Kombination betrug 21 kg. Nach dem Austrocknen der Lehmzweischicht wurde der Prototyp zur Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit an einer Holzwand befestigt. Vorteilhaft zeigten sich bei der Anbringung die in die Lehmplatte eingearbeiteten Dübel-Metallteller, die eine optimale Druckverteilung ermöglichten. Aufgrund der im Verhältnis zur Lehmplatte jedoch geringeren Druckfestigkeit der Schilfgranulatplatte musste bei der Anbringung besonders sorgfältig gearbeitet werden um ein Abbrechen der Kante zu vermeiden. Dieses Verhalten sollte allerdings bei Anbringung im Verbund mit plattem Stoß zu bereits fixierten Elementen deutlich abgeschwächt in Erscheinung treten.

### Bewertung

Durch die gleichbleibende Wandstärke und materialspezifische Homogenität eignet sich die Schilfgranulatplatte als dämmende Schicht für das Wandheizungselement. Aufgrund des hohen Gewichts der WEM-Platte kommt es bei der Manipulation zu einer erhöhten Beanspruchung der Bereiche entlang der Kanten. Die gewählte Kombination kann für die angewendeten Abmessungen hinsichtlich der Kriterien Gewicht, Handlichkeit und Manipulierbarkeit als positiv gewertet werden. Die insgesamt jedoch sehr geringe Dämmwirkung, welche sich im Verbund mit der Lehmplatte nur auf der 3 cm starken Granulatplatte begründet, muss für die Bewertung mitberücksichtigt werden.

#### 5.2.4. Thermoputz und Schilfhäcksel

Für diesen Versuchsaufbau wurde versucht die Dämmebene und die Putzebene als monolithischen Baustein umzusetzen. Basierend auf den Ergebnissen aus der Prototypfertigung (P.4) wurden Schilfhäcksel mit dem wärmedämmenden Leichtputz NHL 5 kombiniert. Anteil an Thermoputz und Schilfhäcksel wurden dabei variiert. Die Muster wiesen Abmaße von 50x30x5cm auf.

	Dichte	Anteil
Schilfhäcksel	150 kg/m <sup>3</sup>	13-21%
Wärmedämmender Leichtputz NHL 5	350 kg/m <sup>3</sup>	87-79%

Tabelle 37: Zusammensetzung des Prototyps Thermoputz und Schilfhäcksel

Zunächst wurden die Schilfhäcksel mit Wasser leicht benetzt, anschließend der Leichtputz beigemischt und danach die restliche Flüssigkeit beigegeben. Der Anteil an entstaubten Schilfhäckseln wurde zwischen 13,5 und 21 % variiert. Die Durchmischung erfolgte über ca. 5 Minuten, danach wurde die Masse in mit Folien ausgekleidete Formen gefüllt (siehe Abbildung 119).



Abbildung 119: Herstellung der Proben

Nach 21 Tagen wurden die Proben aus den Formen entfernt und 14 Tage weiter getrocknet. In den Abbildungen unten sind die leicht zu schneidenden Proben ersichtlich. An den Schnittkanten ist die unregelmäßige Schilfhäckselverteilung feststellbar (siehe Abbildung 120).

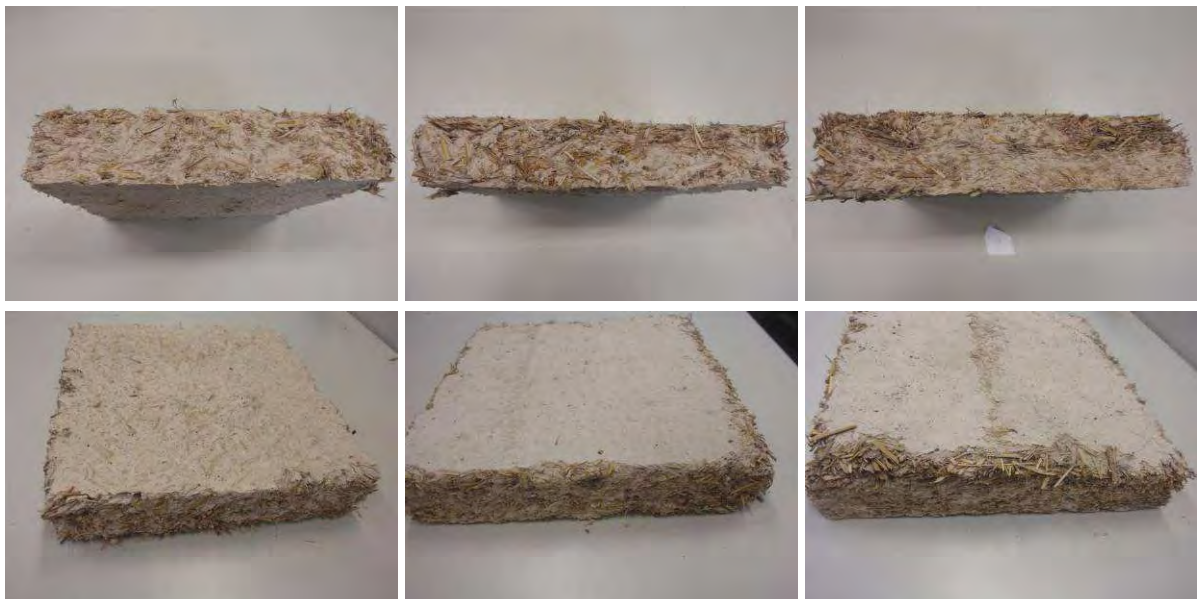


Abbildung 120: Probe 1, Probe 2, Probe 3

## Bewertung

Die zugeschnittenen Muster wurden teilweise auch auf deren Wärmeleitfähigkeit untersucht. Aufgrund der hohen Dichte und der hohen Wärmeleitfähigkeit der Proben kann darauf geschlossen werden, dass die sonst übliche Luftporenbildung im Leichtputz nicht erfolgt ist (siehe Tabelle 38).

Probe	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Gewicht [kg]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Füllstoff [Gew.-%]	λ-Heizkasten [W/mK]
1	0,300	0,300	0,062	3,215	576,16	13,46	0,114
2	0,300	0,300	0,055	2,935	592,93	15,52	0,104
3	0,300	0,300	0,055	3,331	673,02	21,03	-

Tabelle 38: Zusammensetzung der Proben

In Kapitel 3.3.2 wurde zudem die Wasseraufnahme von Probe 2 gemessen. Dabei konnte eine sehr rasche Wasseraufnahme festgestellt werden. Bereits nach 30 Minuten konnte visuell, durch Verfärbungen der Oberfläche, die Durchfeuchtung erkannt werden. Daher ist auf eine hohe Sorptionsfähigkeit der Platte zu schließen, die für den Bereich der Innendämmung interessant sein könnte. Aufgrund der relativ hohen Wärmeleitfähigkeit und geringen Festigkeit wurde diese Platte jedoch nicht weiter untersucht.

### 5.2.5. Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte mit wärmedämmendem Leichtputz und Heizrohren

Für diesen Prototyp wurde aufgrund der Erfahrungen in den vorherigen Versuchen auf Putze mit einer niedrigen Dichte zurückgegriffen. Als Basis diente eine thermoplastgebundene Schilfrohrplatte (P.14) mit einer Dicke von 5,5–6 cm. Als Putzschichtdicke wurden 1,5 cm gewählt. Damit kann einerseits das Gewicht des Prototyps gering gehalten werden, und andererseits werden eventuell auftretende Risse durch die Endbeschichtung an der Baustelle kompensiert. Bei dem gewählten Putz handelt es sich um wärmedämmenden Leichtputz NHL 5 mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,08 W/mK, der die Dämmwirkung des Prototyps zusätzlich erhöht.

	Dichte	Schichtstärke
Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte	133 kg/m <sup>3</sup>	5,5 cm
Kalkputz NHL 5	1.800 kg/m <sup>3</sup>	0,5 cm
Wärmedämmender Leichtputz NHL 5	350 kg/m <sup>3</sup>	1,5 cm

Tabelle 39: Aufbau des Prototyps thermoplastgebundene Schilfrohrplatte mit Leichtputz

## Putzauftrag

Als Haftgrundlage wurde jeweils eine Grundierungsschicht (Vorspritzer) mit naturhydraulischem Kalk NHL 5 vorgenommen. Danach erfolgt der Auftrag des Leichtputz NHL 5. Mittels seitlich fixierter Leisten wurde die Putzschichtdicke eingestellt abgezogen

(siehe Abbildung 121). Anschließend erfolgte die Putzarmierung mithilfe eines Textilglasgitters.

Die Platte inklusive des frischen Putzes mit den Abmaßen 58 x 65 x 5,5 cm wies ein Gewicht von 7,5 kg auf. Das entspricht einer Rohdichte von rund 292 kg/m<sup>3</sup>.



Abbildung 121: Putzauftrag auf thermoplastgebundene Schilfrohrplatte

Die gleiche Vorgehensweise erfolgte mit dem zweiten Prototyp, jedoch wurden hier zusätzlich Wandheizungsrohre (REHAU-System; 10,1 x 1,1 mm) in den Aufbau integriert. Die Schilfrohrplatte wies die Abmaße 96 x 53 x 6–6,5 cm auf. Die Putzdicke wurde im Vergleich zum vorherigen Prototyp um 0,5 cm erhöht, da die Klemmschienen inklusive Rohre des Heizsystems 1,6 mm betragen. Weiter wies diese Platte Dickenschwankungen von +0,5 cm auf, wodurch die aufgetragene Putzmenge lokal variierte. Die Rohdichte des Prototyps im noch feuchten Zustand betrug rund 338 kg/m<sup>3</sup>.



Abbildung 122: Putzauftrag auf thermoplastgebundene Schilfrohrplatte inkl. Wandheizungsrohren

### **Anbringung**

Nach 14 Tagen wurden die Platten rückgewogen. Die Rohdichten bei beiden Platten hatten inklusive Putzschicht um ca. 6,5% auf rund 270kg/m<sup>3</sup> abgenommen. An der Putzoberfläche waren keine Risse erkennbar. Die Platten sind aufgrund ihres geringen Gewichtes 6,5–12,3 kg leicht manipulierbar. Platte 1 mit den Abmaßen 58 x 65 x 5,5 wurde testweise an einer Wand befestigt. Das Bohren der Löcher und durchführen der Dübelteller erwies sich als problemlos. Beim Anschrauben wurde die Schilfplatte komprimiert, und es bildeten sich Haarrisse im Bereich der Dübel und entlang der Ausrichtung der Schilfrohrhalme. Die Platte wurde demontiert und in der Mitte quer zu den Halmen durchgeschnitten, um die Rissstellen zu analysieren. Dabei zeigte sich das diese vor allem an den Punkten vorkam, bei denen die

Putzschicht aufgrund eines Halmes mit größeren Rohrdurchmesser verringert war (siehe Abbildung 123).



Abbildung 123: Anbringung thermoplastgebundene Schilfrohrplatte. Links: Befestigung. Mitte: Haarrisse sichtbar gemacht. Rechts: Bruch.

### **Bewertung**

Die Platten weisen ein geringes Gewicht auf und sind leicht bearbeitbar. Die Festigkeit des Leichtdämmputzes ist trotz seiner geringen Dichte sehr gut. Durch die Komprimierung der Schilfrohrplatte, aufgrund des inhomogenen Aufbaus (Schwankungen in der Plattenstärke), kommt es bei der Anbringung zu Spannungen in der Putzschicht und in weiter Folge entstehen Haarrisse.

### 5.3. Vergleich der Prototypen

In der folgenden Tabelle werden die wesentlichen Faktoren zur Beurteilung der Prototypen für die Innendämmung angeführt und miteinander verglichen.

Trägerplatte	Schilfgranulatplatte	Drahtgebundene Schilfrohrplatte	Thermoputz + Schilhäcksel	Schilfgranulatplatte	Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte
Putz	Kalkputz NHL 3,5 BSM	Kalkputz NHL 3,5 BSM	Wärmedämmender Leichtputz NHL 5	WEM-Element	Wärmedämmender Leichtputz NHL 5
Wärmedämmung	--	+	--	--	+
Gewicht	--	--	++	-	++
Stabilität Trägerplatte	+	--	+-	+	+-
Zuschnitt	++	+-	+-	k.A.	++
Putzqualität Risse	--	--	+-	++	+-
Putzqualität Druckfestigkeit	+-	+-	+-	++	+-
Anbringung	+	--	k.A.	++	+

Tabelle 40: Vergleich der Prototypen für die Innendämmung

Das sehr hohe Gewicht und die Rissbildungen im Putz der ersten Versuche konnten durch die Verwendung von Leichtwärmedämmputz reduziert werden. Des Weiteren bildet der Leichtwärmedämmputz aufgrund des höheren  $\mu$ -Wertes im Vergleich zu den anderen Putzen eine leichte Dampfbremse, die bei der Nutzung als Innendämmung vorteilhaft ist. Die Prototypen aus Granulat- bzw. thermoplastgebundener Platte ließen sich leicht schneiden und bohren. Aufgrund der höheren Dicke der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatte wird allerdings eine höhere Dämmwirkung erzielt als mit der 3 cm starken Granulatplatte, bei gleichzeitig geringerem Gewicht. Dies wurde unter anderem mithilfe des wärmedämmenden Leichtputzes und geringerer Auftragsstärken erzielt.

Eine gute Steifigkeit, Druckfestigkeit und einfache Anbringung konnte mit der Verbindung von WEM-Element und Granulatplatte erzielt werden. Allerdings ist bei diesem Prototyp das Gewicht sehr hoch, was den Arbeitsaufwand erhöht, außerdem ist die Dämmwirkung sehr gering. Ein Vorteil dieses Prototyps besteht in der Integration der Wandheizungsrohre. Auch für den Prototyp aus thermoplastgebundener Platte und Leichtputz wurde eine Variante mit Heizrohren hergestellt. Aus den Erfahrungen des Projektpartners SERA Lizenzen zeigte sich, dass Innendämmungen mit Schilfrohrplatten in Kombination mit dem firmeneigenen

Wandheizungsrohren sogar bei Fällen mit leicht bis mäßig feuchtebelasteten Wänden einsetzbar sind. Um zu überprüfen, ob auch ohne ein zusätzliches Heizsystem das Auslangen zu finden ist, wurden zusätzlich bauphysikalische Berechnungen mit dem Prototyp aus thermoplastgebundener Platte und Leichtputz (ohne Heizrohre) durchgeführt.

## 5.4. Bauphysikalische Berechnungen

### Hygrothermisches Verhalten

Die Simulation des hygrothermischen Verhaltens wurde für die thermoplastgebundene Schilfrohrplatte mit wärmedämmendem Leichtputz durchgeführt. Der Schichtaufbau der Wand inklusive Innendämmung ist in Tabelle 41 abgebildet. Die vollständigen Berechnungen sind dem Anhang zu entnehmen.

Dicke [cm]	Bauteil	Baustoff
0,5	Innenputz	Vorspritzer
2,5	Innenputz	WD-Putz
0,5	Innenputz	Feinputz
25,0	Bestandswand	Ziegelmauerwerk
5,0	Dämmebene	Schilfplatte
0,5	Außenputz	Vorspritzer
2,5	Außenputz	WD-Putz
0,5	Außenputz	Feinputz

Tabelle 41: Wandaufbau Innendämmung thermoplastgebundene Platte und Leichtputz

Bei diesem Wandaufbau waren einerseits die Dicke des Wärmedämmputzes und andererseits die internen Feuchtelasten von entscheidender Bedeutung. Folgende Varianten wurden untersucht:

Feuchteverhalten
Variante 1: Ausgangsvariante mit 2 cm Innenwärmedämmputz
Variante 1.1: Ausgangsvariante mit 2 cm Innenwärmedämmputz und erhöhten internen Lasten
Variante 2: Ausgangsvariante mit 1 cm Innenwärmedämmputz
Variante 2.1: Ausgangsvariante mit 1 cm Innenwärmedämmputz und erhöhten Lasten

Tabelle 42: Durchgeführte bauphysikalische Berechnungen

Die Änderung der Dicke von 2 cm auf 1 cm hat nur minimale Änderungen des Wassergehalts zur Folge. Die Änderung der internen Lasten hat vor allem in den Wintermonaten größere Schwankungen zur Folge. Der höchste Wassergehalt ist in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Mauer festzustellen.

Eine detaillierte Untersuchung der Grenzschicht zeigt, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von 70–90 % einstellt. Die Analyse mittels Isoplethensystem zeigt, dass die hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen Perioden überschritten werden. Werden die Überschreitungzeiten analysiert, kann festgestellt werden, dass in der

gewählten Variante (2 cm Putz und erhöhte interne Lasten) Schimmelbildung auftritt. Da dieser Aufbau daher nicht verwendet werden kann, wurden zwei alternative Aufbauten vorgeschlagen:

- Variante A: Verringerung der internen Lasten auf „normal“ → Es entsteht kein Schimmel unter Berücksichtigung des Isoplethenmodells für Schilf.
- Variante B: Erhöhung der Putzstärke auf 2,5 mm und „normale“ Feuchtelasten → Es entsteht kein Schimmel unter Berücksichtigung des Isoplethenmodells für Schilf; minimale Verbesserungen im Vergleich zur alternativ Variante A.

Varianten A und B sind als Innendämmung unter Einhaltung folgender Maßnahmen geeignet:

1. Keine erhöhten Feuchtelasten im Innenraum (Sanitärräume)
2. Kein Feuchteintrag in das Mauerwerk durch Schlagregen (mögliche Gegenmaßnahmen: konstruktiver Schlagregenschutz; Einsatz einer stark wasserabweisenden, diffusionsoffenen Farbe)

## 5.5. Schlussfolgerungen

Der Zeitaufwand für die Anbringung der Innendämmung konnte durch die Entwicklung von Trockenausbau-Elementen verringert werden, bei denen der Grundputz bereits auf der Schilfdämmplatte aufgetragen wurde. Mit der Verwendung von wärmedämmendem Leichtputz konnte das Gewicht dieser Elemente gering gehalten und die Dämmwirkung erhöht werden. Schwierigkeiten gab es in erster Linie bei der Anbringung der Platten durch hohes Gewicht oder inhomogene Plattenzusammensetzungen und -stärken.

Wie die bauphysikalischen Berechnungen gezeigt haben, ist die Verwendung von Schilfplatten zur Innendämmung unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Soll die Funktionstüchtigkeit der Dämmung auch bei höheren Feuchtelasten sichergestellt werden, könnten Innenfarben bzw. Innenputze mit höheren  $\mu$ -Werten eingesetzt werden.

Um Schimmelbildung vollständig auszuschließen, wäre der Einsatz von Sockel- bzw. Wandheizungen oder der Einsatz einer Dampfbremse zu überlegen. In einen Prototyp aus thermoplastgebundener Platte und Leichtputz konnte auch bereits ein Wandheizsystem integriert werden. Die Vorfertigung von Trockenausbau-Elementen mit Schilf als Dämmstoff und mit optionaler Wandheizung konnte damit erreicht werden. Die Anwendung dieser Platten ist nur möglich wenn die Wände an die sie angebracht werden keine Unebenheiten aufweisen bzw. müssen diese ausgeglichen werden. Welche Optimierungen im Bereich der Innendämmung noch möglich sind, wird im Folgenden beschrieben.

## 5.6. Weiterentwicklungspotenzial der Innendämmung- Trockenausbauplatte

Das Weiterentwicklungspotential bei der Innendämmung-Trockenausbauplatte liegt vor allem in einer weiteren Verbesserung der Trägerplatte. Aufgrund des homogenen Aufbaues eignet sich dazu insbesondere die Schilfgranulatplatte und die thermoplastgebundene



Schilfrohrplatte. Bei beiden Platten sind Optimierungen notwendig. Eine höhere Plattenstärke bei der Schilfgranulatplatte (um eine höhere Dämmwirkung zu erzielen) bzw. eine gleichmäßige Oberfläche und einheitliche Plattenstärken und -dichten bei der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatte (um die Putzschicht weniger zu belasten). Dadurch wären höhere Putzstärken (Leichtdämmputz) auftragbar, wodurch die Dämmleistung weiter gesteigert werden könnte.

Um den Vorfertigungsgrad weiter zu optimieren sollten Dübelteller in die Putzträgerplatte integriert werden, um die mechanischen Einwirkungen auf die Putzschicht zu reduzieren. Gleichzeitig dürfen die Trägerplatten beim Setzen der Dübel nicht zu stark komprimiert werden, um eine Ablösung der Putzschicht zu vermeiden. Hier sind als Optimierungsmaßnahmen entweder ausreichend druckfeste Platten, eine bessere Druckverteilung durch größere Dübelteller bzw. Distanzhülsen denkbar. Die Distanzhülsen könnten in den Schaft des Dübeltellers integriert werden und die Kompression der Trägerplatte nur bis zu einem bestimmten Grad erlauben.

Hinsichtlich der Erhöhung der Anwendungssicherheit, sind Kombinationen mit geeigneten Schutzmaßnahmen gegen Schlagregen, wie in den bauphysikalischen Betrachtungen beschrieben, zu untersuchen.

## 6. Sanierungskonzept

Nachdem im Projektverlauf bereits Detaillösungen für unterschiedliche konstruktive Anwendungsfälle für die entwickelten Dämmsysteme vorgestellt wurden sollen nun die Einsatzmöglichkeiten dieser Systeme anhand eines ausgewählten Sanierungsobjekts konstruktiv sowie bezüglich ihrer spezifischen Eignung für architektonische Sonderlösungen (Mauerversprünge, komplexe Dachkonstruktionen, Fenster mit Sonderformaten) im Bereich der Sanierung von Altbauten überprüft werden.

Die Auswahl eines geeigneten konkreten Sanierungsobjekts wird anhand einer vorangehenden Kategorisierung verschiedener Gebäudetypologien mit besonderem Fokus auf die Gebäudenutzung sowie einer anschließenden Objektrecherche durchgeführt.

Die material- und systemspezifischen Vorteile der Dampfdiffusionsoffenheit, flexibler Anbringungsmöglichkeiten sowie die aufgrund bauphysikalischer Homogenität gegebene Kombinationsmöglichkeit der unterschiedlichen Dämmsysteme sollen in direkter Anpassung für eine mögliche spätere Umsetzung innerhalb eines Demonstrationsprojekts im theoretischen Rahmen überprüft werden.

### 6.1. Auswahl eines geeigneten Sanierungsobjekts

Die durchgeführte Methodik zur Ermittlung des am besten geeigneten Sanierungsobjekts umfasst die Bestimmung der relevanten Kriterien zur Bewertung von Gebäudetyp und konkretem Sanierungsobjekt. Im Detail wird anschließend die Auswahl des spezifischen Objekts dargelegt und begründet.

#### 6.1.1. Bestimmung des geeigneten Gebäudetyps

Grundlegende Vorarbeit zur Ermittlung der notwendigen Basisdaten ist eine Definition der Kriterien welche zur anschließenden Bewertung herangezogen werden sollen. Da im Falle einer Gebäudesanierung grundsätzlich zwischen der „klassischen“ und der „energetischen“ Variante unterschieden werden kann soll zunächst eine Betrachtung der jeweiligen Einflussgrößen dieser Faktoren auf die Ergebnisbewertung erfolgen.

#### **Thermisches Sanierungspotential**

Einflussnehmende Faktoren sind hier vor allem der sich vor allem aus den U-Werten der Bauteile ergebende Heizwärmebedarf (HWB) des Gebäudebestands und der technisch machbare thermische Sanierungsgrad. Dieses quantifizierbare Einsparungspotential ist gerade bei Gebäuden der älteren Generationen um das bis zu 10-fache größer als bei Gebäuden aktuellerer Baujahre (s. Abb. XX). Gerade bei Altbauten ergeben sich hierbei allerdings häufig Grenzen durch konstruktive Einschränkungen (z.B. Dämmung des Dachs nicht möglich aufgrund einer zu schwachen statischen Konstruktion). Zudem soll bei der

Auswahl auch auf ein langfristiges Nutzungsszenario Wert gelegt werden wodurch sich der Nutzungstypus der Wohngebäude besonders empfiehlt, da hier Nutzungsphasen von durchschnittlich 40 und mehr Jahren bei gleich bleibendem Anforderungsprofil seitens der Nutzer erreicht werden.

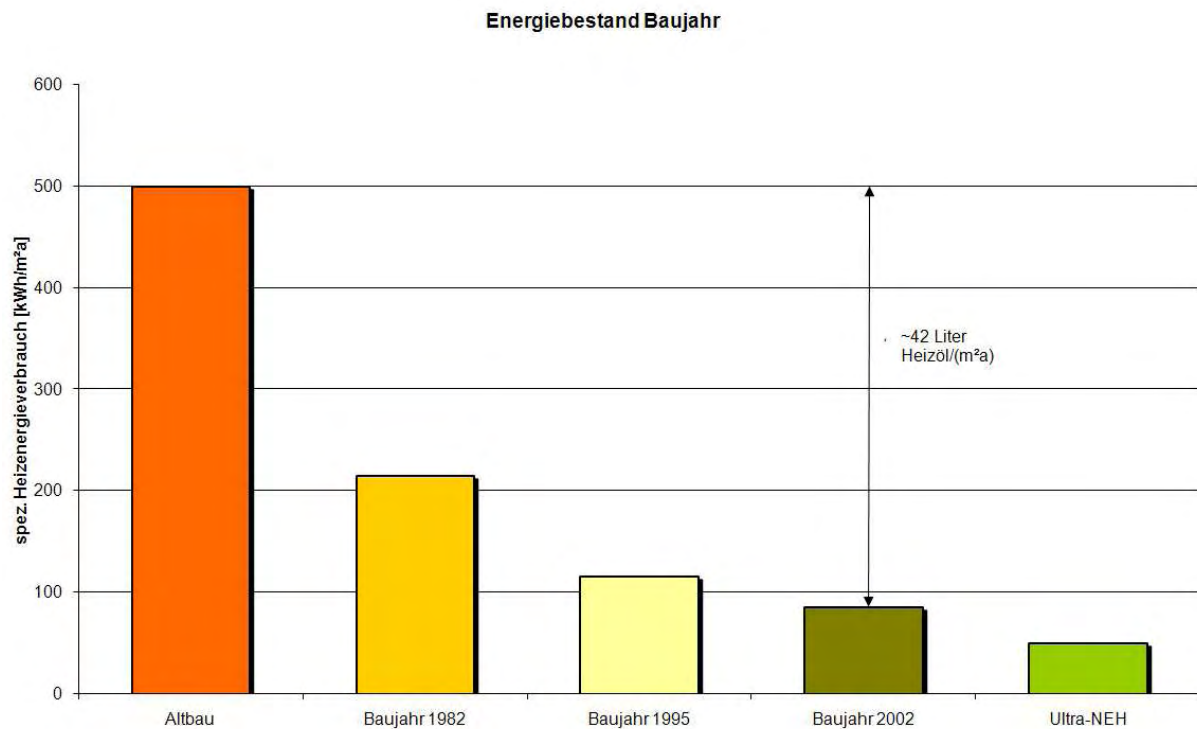


Abbildung 124: spezifischer Heizenergiebedarf von Gebäuden nach Baujahr<sup>79</sup>

## Architektonisches Sanierungspotential

Ausgehend von einer möglichst weitreichenden Verringerung des jährlichen Heizwärmebedarfs stellen vor allem architektonische Sonderformen mit oft ungünstigen bauphysikalischen Details lohnenswerte Demonstrationsplattformen dar. Die Flexibilität und das Anwendungspotential des neu entwickelten WDVS kann anhand komplexer konstruktiver Anforderungen durch das Bauobjekt (z.B. überdurchschnittliche Mauerstärken, kleinteilig konstruierte Kastenfenster, komplexe Dachverschneidungen, Ornamentik an der Außenfassade) sehr gut demonstriert werden und sich von Standardlösungen abheben.

Um eine möglichst hohe Multiplikatorwirkung des gewählten Demonstrationsobjekts zu erzielen wurden die oben genannten Kriterien anhand der Bauperioden des österreichischen Gebäudebestands sowie zusätzlich anhand der Gruppe der denkmalgeschützten Gebäude betrachtet und auf ihre Eignung hin bewertet.

<sup>79</sup> Eigene Darstellung, Datenquelle: Energiesparverband Deutschland

## **Typ 1: Denkmalgeschützte Wohngebäude**

### Architektonisches Profil:

Kulturell bedeutende, erhaltenswerte Bausubstanz / Architektur / Formgestaltung im öffentlichen Interesse gemäß Feststellung des BDA (unterschiedliche Bewertungskriterien möglich)

### Thermisches Energieeinsparungspotential (auf Basis des HWB)

Faktor 10 bis 15 im Bereich Ein- und Zweifamilienhäuser

### Eignung und Bewertung:

- Anzahl der in Frage kommenden Objekte stark beschränkt
- geringe Demonstrationswirkung zu erwarten, da jeweils individuelle Bewilligungsverfahren mit Denkmalschutzamt
- erhöhte Planungs- und Errichtungsaufwendungen mittels Denkmalschutz-Auflagen
- eingeschränkte Möglichkeiten bei der Anwendung einer Außendämmung

## **Typ 2: Wohnbauten Bauphase bis 1920 – nicht denkmalgeschützt**

### Architektonisches Profil:

Bauweise massiv, Bruchstein, Mauerziegel, Beton, Decken mit Balkenlagen, Dippelbaumdecken, etc, Satteldächer, Kalk- und Zementputze, keine Dämmung

### Thermisches Energieeinsparungspotential (auf Basis des HWB)

Faktor 10 bis 20 im Bereich Ein- und Zweifamilienhäuser

### Eignung und Bewertung:

- sehr individuelle Konstruktionslösungen schwierig für Demonstrationswirkung
- große Wandstärken schwierig bei zusätzlicher Dämmschichtanbringung
- bauphysikalische Problembereiche schwer lösbar (Aufsteigende Bodenfeuchte, etc)
- Umnutzungskonzepte unvorteilhaft realisierbar (Raumhöhen, etc.)
- Leitungsführung (Wasser, Elektrizität) schwer einzubringen bzw. nur bei hohem Aufwand

## **Typ 3: Wohnbauten Bauphase 1920 bis 1970 – nicht denkmalgeschützt**

### Architektonisches Profil:

Hauptsächlich massive Mischbauweise, Beton, Holzkonstruktionen, Decken mit Balkenlagen, Stahlbetondecken, Fertigteilbauweisen, Sattel- Pult- und Flachdachkonstruktionen, fast keine (Außen-)dämmung

### Thermisches Energieeinsparungspotential (auf Basis des HWB)

Faktor 15 bis 20 im Bereich Ein- und Zweifamilienhäuser

### Eignung und Bewertung:

- leicht adaptierbare Raumeinheiten ermöglichen flexible Umnutzungskonzepte
- unkomplizierte Wand- und Deckenaufbauten (geringer Materialmix)
- geringe Wandstärken ermöglichen hohe Dämmschichtstärken
- Fensteröffnungen gut erweiterbar, alte Fenster sanierbar
- Leitungsführung nachträglich integrierbar (einfacher Wandaufbau)

- Gute Verbreitungswirkung zu erwarten (häufig identische Bauweisen)

#### **Typ 4: Wohnbauten Bauphase ab 1970 – nicht denkmalgeschützt**

##### Architektonisches Profil:

Bauweise massiv, Mischbauweise, Leichtbauweise, Mauerziegel, Beton, Holzkonstruktionen, Decken mit Balkenlagen, Stahlbetondecken, Fertigteilbauweisen, Sattel- Pult- und Flachdachkonstruktionen, geringe bis hohe Dämmung

##### Thermisches Energieeinsparungspotential (auf Basis des HWB)

Faktor 2 bis 10 im Bereich Ein- und Zweifamilienhäuser

##### Eignung und Bewertung:

- Energieeinsparungspotential aufgrund bereits vorhandener Dämmschichten gering
- Architektonisches Profil zeigt geringere Anwendungsbasis für Potentialdarstellung der entwickelten Systemlösungen
- Bauphysikalisches Potential kann nicht ausgeschöpft werden (dampfdichte Stahlbetonwände, etc.)
- Finanzierungsproblematik (bei Eigenheim: häufig Kreditrückzahlungszeitraum >20 Jahre bei Hausbau)

Aufgrund der dargestellten Profile wurde unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren Typ 3 – Wohnbauten Bauphase 1920 bis 1970 als am besten geeigneter Gebäudetyp für die Realisierung des Sanierungskonzepts ausgewählt.

Da eine ausführliche Darstellung aller in Frage kommenden und bewerteten Objekte für den weiteren Verlauf der Ergebnisdarstellung ohne Belang ist wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet und im folgenden direkt das ausgewählte Gebäude vorgestellt.

#### **6.1.2. Ergebnis des Auswahlverfahrens**

Das auf Basis der dargelegten Bewertungskriterien gewählte Sanierungsobjekt ist ein in Massivbauweise errichtetes Wohngebäude auf dem Areal des Zentrums für Angepasste Technologie in Böheimkirchen. Das in den 40er Jahren errichtete ehemalige Wohnhaus der ortsansässigen Familie Riedl weist eine Bruttogrundfläche von insgesamt 154,28 m<sup>2</sup> auf und verfügt zusätzlich über einen nicht ausgebauten Dachstuhl mit nutzbarer Raumhöhe.



Abbildung 125: Ansichten Sanierungsobjekt „Wohnhaus Riedl“ Böheimkirchen

In der folgenden Tabelle finden sich die Bewertung sowie die im Zusammenhang stehenden Begründungen welche die Auswahl des Sanierungsobjekts darlegen.

Kategorie	Bewertung	Begründung
thermisches Sanierungspotential	sehr hoch	U-Werte der Außenwände bei $> 1,0 \text{ W/mK}$
architektonisches Sanierungspotential	hoch	Mischbauweise mit komplexer Dachkonstruktion sowie individuellen Konstruktionslösungen im Wandbereich
bauphysikalische Eignung für die entwickelten Systemlösungen	sehr hoch	gute Dampfdiffusionsoffenheit durch reines Ziegelmauerwerk mit hohen Wandstärken im Bereich der Außenmauern
Verbreitungswirkung	sehr hoch	zentraler Standort für Forschungsdemonstrationen sowie bereits bestehender Ergebnisse anderer Projekte (Demonstrationsgebäude S-House)
Realisierbarkeit der Sanierungsmaßnahmen	sehr hoch	Umsetzungsmöglichkeit des Sanierungskonzepts innerhalb eines nachfolgenden Demonstrationsprojekts

Tabelle 43: Bewertung zur Auswahl des Sanierungsobjekts

Neben einer hohen Diversität in der verwendeten Architektursprache (Massiv- und Holzbauweise, komplexe Dachverschneidungen) zeichnet sich das Gebäude durch ein sehr hohes thermisches Sanierungspotential aus (Heizwärmebedarf des Bestandsbaus  $484,53 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ). Auch bezüglich der bauphysikalischen Eigenschaften der für die Anbringung der Dämmsysteme in Frage kommenden Außenwände kann ein sehr positives Urteil abgegeben werden. Zuletzt ist das Forschungs- und Demonstrationsareal auf welchem das Gebäude steht ein wesentlicher Entscheidungsgrund für die Auswahl, da eine außergewöhnlich hohe Verbreitungswirkung einkalkuliert werden kann (z.B. regelmäßige Veranstaltungen und

offizielle Führungen durch das Demonstrationsgebäude S-House<sup>80</sup>) und die Realisierung des Sanierungsvorhabens aufgrund anderer bereits laufender Forschungsprojekte eine hohe Wahrscheinlichkeit besitzt.

## **6.2. Bestandserhebung und Substanzsicherung**

Grundlage einer jeden Sanierungsmaßnahme bei möglicherweise beschädigter Altbausubstanz muss eine umfassende Erhebung und Darstellung des Gebäudebestands sein um eine verlässliche Planungsgrundlage für alle nachfolgenden Sanierungsarbeiten zu erhalten. Als unterstützender Maßnahmenkatalog kann in Österreich die ÖNORM B 3355-1 (Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk - Teil 1: Bauwerksdiagnose und Planungsgrundlagen) als Grundlage herangezogen werden.

Zielsetzung der Bestandsanalyse für das konkrete Sanierungsobjekt stellte lediglich die Ermittlung der für die Anwendung der entwickelten Systemlösungen relevanten Kriterien im Bestandsbau dar, weshalb aus dem zur Verfügung stehenden Maßnahmenkatalog die nachfolgenden Aktionsschritte übernommen und in die Bestandsaufnahme des Sanierungsobjekts integriert worden sind:

1. Anfertigung von Bestandsplänen bzw. Sichtung bestehenden Planmaterials
2. Erhebung der Wand- und Deckenaufbauten sowie der Fundamentierung
3. Erhebung von Schäden: z.B. Risse, Feuchtigkeitsschäden etc.
4. Probenentnahme aus dem Mauerwerk für die Feuchte- und Salzanalyse
5. Ergebnisauswertung und Maßnahmenkatalog zur Substanzsicherung

### **6.2.1. Bestandsdarstellung in Plan und Beschreibung**

Bei dem ausgewählten Demonstrationsgebäude handelt es sich um ein das ehemalige Wohnhaus der Familie Riedl, welches in den Jahren 1940 bis 1942 errichtet wurde und gemäß der Dokumentation bis ins Jahr 1970 bewohnt war. Zum Gesamtgrundstück gehören drei weitere Wirtschaftsgebäude mit einer bebauten Gesamtfläche von insgesamt 395,55 m<sup>2</sup>. (Quelle: Bestandsermittlung 1970)

---

<sup>80</sup> Vgl. Wimmer et.al, 2006

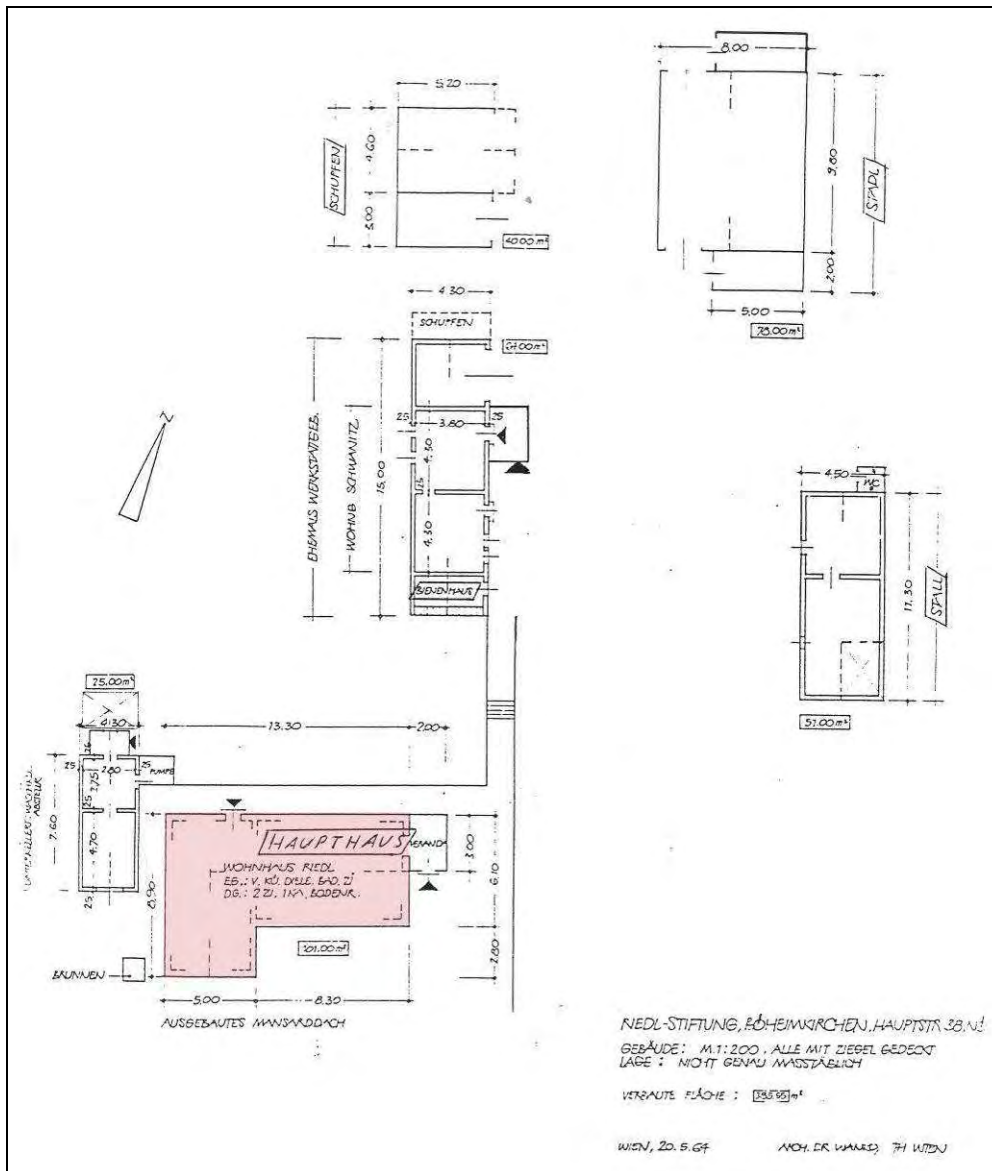


Abbildung 126: Lageplan des Sanierungsobjekts im Bestand

Das Gelände besitzt eine starke Hanglage in Richtung Süden, jedoch befindet sich das Gebäude selbst in einem noch sehr flach abfallenden Bereich. Um das ganze Gebäude zieht sich ein teilweise mit Betonplatten ausgelegter Umgang, außerdem schließt vor dem Haupteingang an der Ostfassade eine etwa 12 m<sup>2</sup> große betonierte Fundamentplatte, die ebenerdig zum Innenraumniveau übergeht, an das Gebäude an.

Die Raumaufteilung und Erschließung im Gebäudeinneren scheint für die Errichtungszeit typisch. Die Aufenthaltsräume im Erdgeschoß sind ohne zwischengeschaltete Erschließungsgänge direkt aneinander gefügt und besitzen jeweils eigene Rauchfanganschlüsse sowie Kamin oder Ofen.



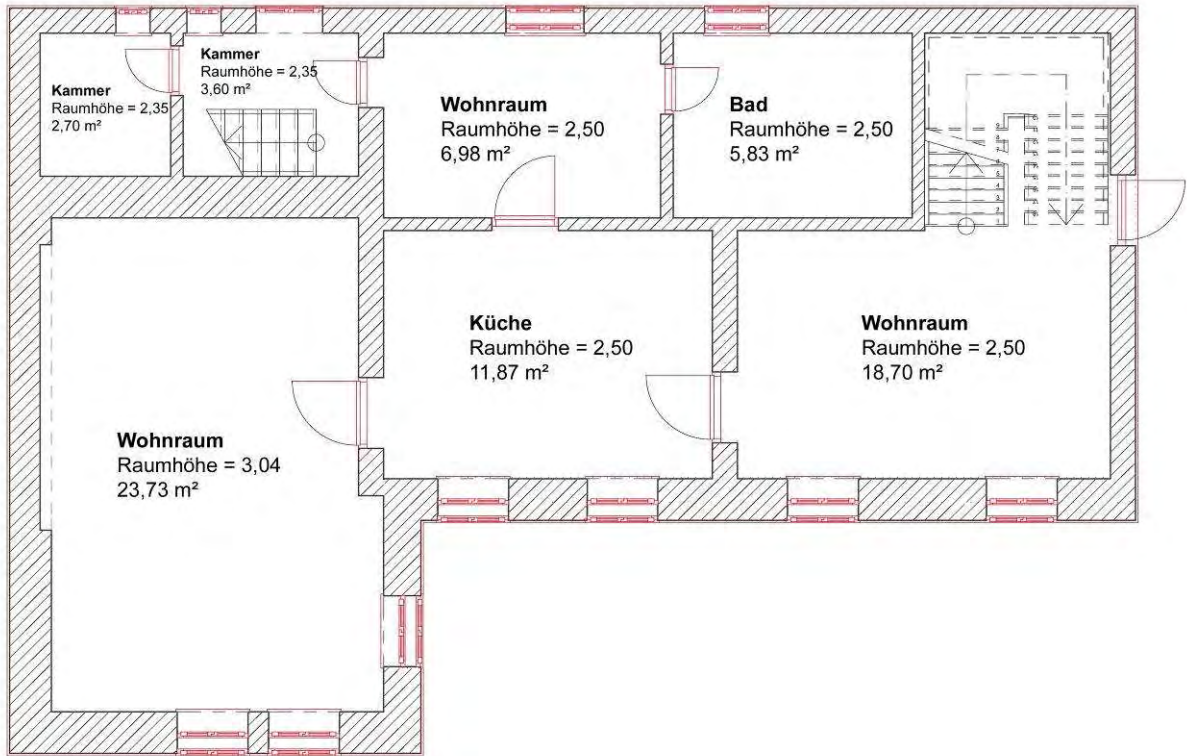


Abbildung 127: Grundriss Erdgeschoß (Bestand)

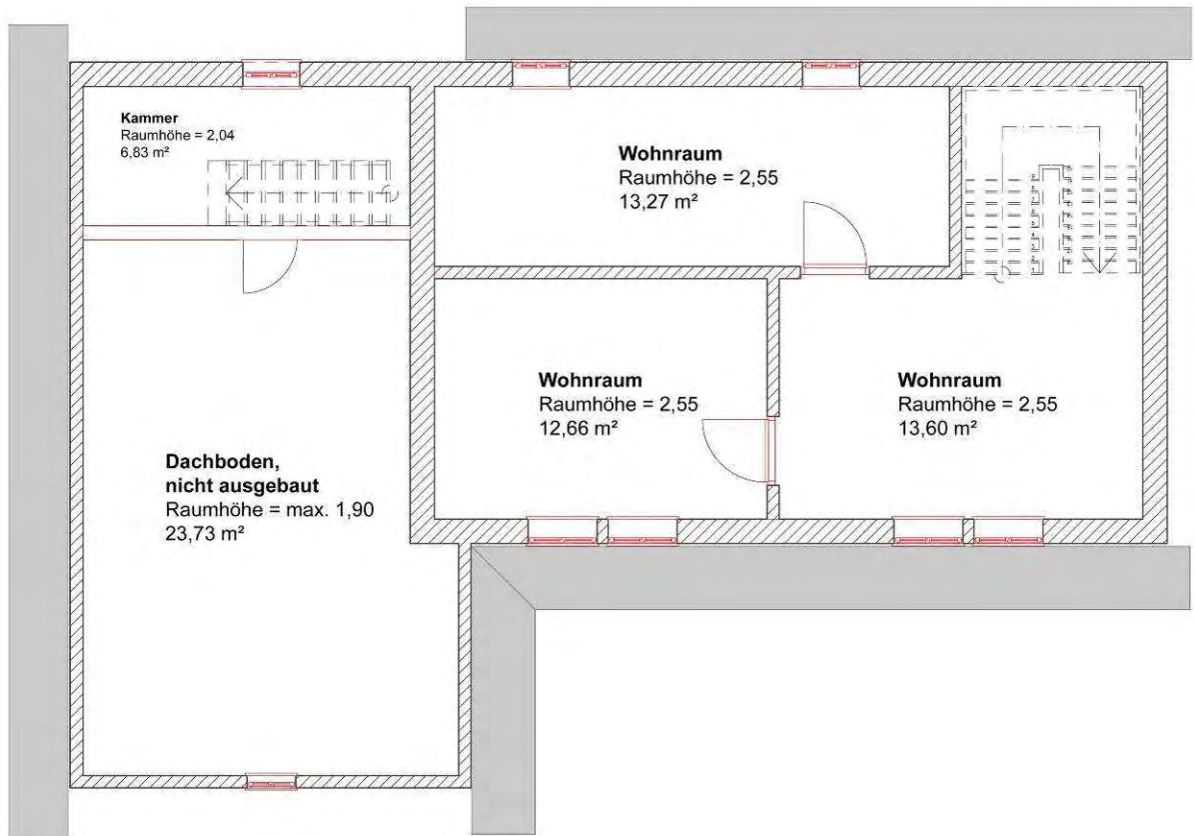


Abbildung 128: Grundriss Obergeschoß (Bestand)

Architektonische Besonderheiten sind im Schnitt zu erkennen. Der Haupttrakt des Gebäudes im Westen scheint durch einen zweiten Gebäudekörper ergänzt worden zu sein. Darauf deuten sowohl die L-förmige Grundrissgestaltung wie auch die unterschiedlichen Raumhöhen hin. Die komplexe sich aus diesen Rahmenbedingungen ergebende Dachausformung ist ebenfalls eine architektonische Besonderheit des Gebäudes.

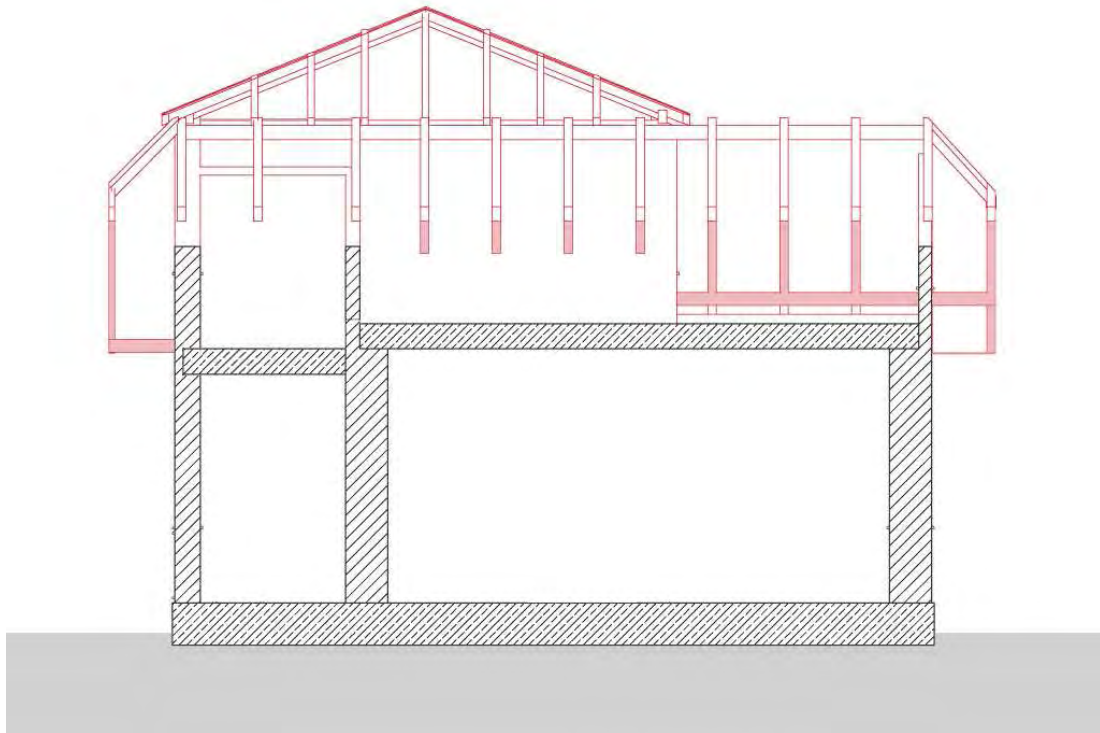


Abbildung 129: Querschnitt durch den Nebentrakt (Nord-Süd-Achse)

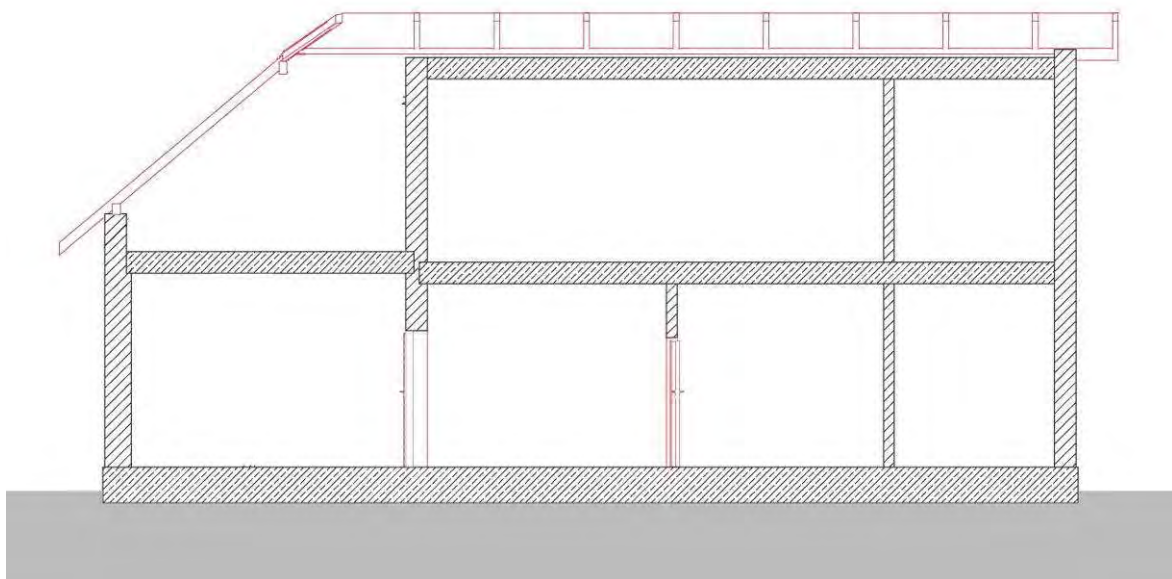


Abbildung 130: Längsschnitt (Ost-West-Achse)

## 6.2.2. Detaillierte Erhebung der Bauteile (Wand, Decke, Dach, Fundament)

Anhand spezifisch ausgewählter Bauteil-Kategorien wurden als Detailbetrachtung konstruktive sowie architektonische Besonderheiten im Bestandsbau untersucht und dargestellt. Außerdem wurde der Zustand der Bauteile hinsichtlich der Relevanz für das Sanierungsvorhaben bewertet.

Folgende Bauteil-Kategorien wurden untersucht:

- Außenwände
- Dachkonstruktion
- Oberste Geschosßdecken
- Bodenplatten (Fundamentplatten)

Da speziell die Außenwände für die Anwendung der Wärmedämm-Verbundsysteme gesondert betrachtet werden müssen wurde eine zusätzliche Kategorisierung dieses Bauteiltypus anhand von Mauerstärken, Konstruktionstyp und individueller formaler Ausprägungen vorgenommen die im nachfolgenden Plan ersehen werden kann.

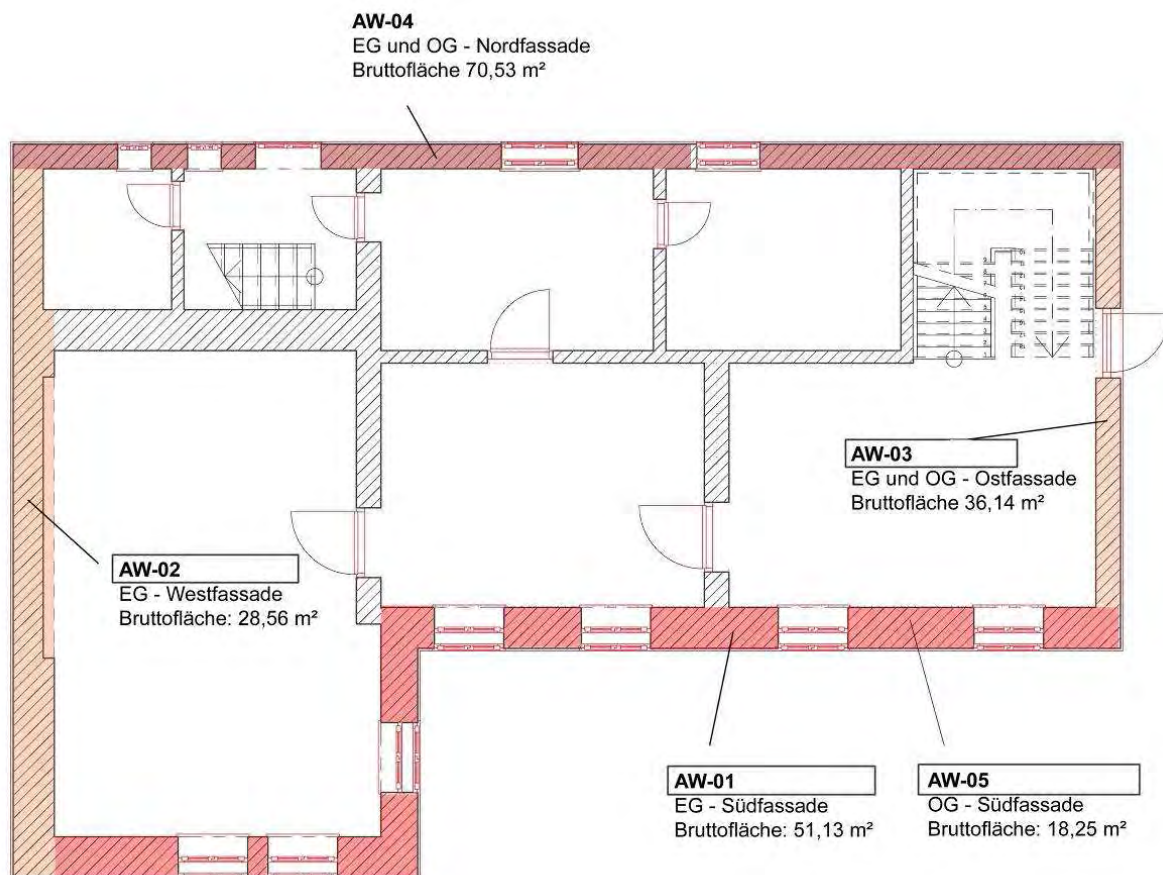


Abbildung 131: Grundrissdarstellung mit Bauteilspezifikationen

## Außenwände

Sämtliche Außenwände bestehen im Regelgeschoß aus massivem Ziegelmauerwerk, welches beidseitig verputzt ist. Im Bereich der Südfassade im Erdgeschoß findet sich eine erhöhte Mauerstärke von 50 cm (AW-01 und AW-02). Da keine konstruktiv sinnvolle Begründung dieser Ausformung zu erkennen ist kann nur von individuellen Ursachen der Bauherren bzw. der Planer ausgegangen werden. Als besonders markanter Punkt tritt hierbei der Übergang zwischen Regel- und Obergeschoß in der südlichen Außenmauer hervor (Übergang AW-02 zu AW-05), da hier ein Sprung in der Mauerstärke von 50 auf 30 cm erfolgt der durch die Ausprägung der Dachfläche als Mansarddach im Obergeschoß zwar verdeckt wird (siehe Abbildung 132), jedoch für eine thermische Sanierung durch eine Außendämmung große Relevanz besitzt.

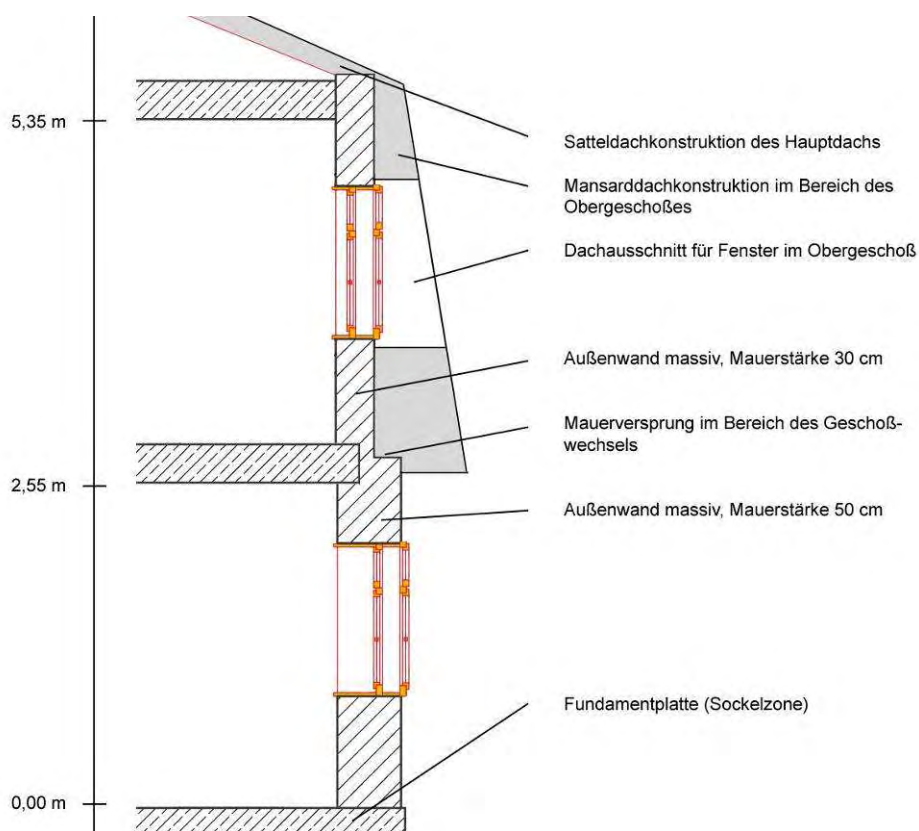


Abbildung 132: Querschnitt im Bereich des Haupttrakts mit Darstellung des Mauerversprungs

Neben der erhöhten Wandstärke im Erdgeschoß der Südfassade finden sich umlaufend im restlichen Gebäude Wandstärken von 30 cm oder weniger (AW-03 und AW-04). Im Bereich der Nordfassade ist im Gegensatz zur Südfassade der Geschößsprung im Haupttrakt mit gleichbleibender Mauerstärke ausgeführt, was eine jeweils individuelle Konstruktion des Mansarddaches aufgrund unterschiedlicher resultierender Dachschrägen auf der Nord- und Südseite bedingt.

Während etwa 80% der mit 30cm ausgeführten Außenwände aus Ziegelmauerwerk bestehen wurden im Nebentrakt die Giebelseiten des Obergeschoßes in einer einfachen

Holzkonstruktion mit abweichender formaler Ausgestaltung sowie in kontrastierender Farbgebung ausgeführt (s. Abb. XX). Diese Außenwandbereiche stellen lediglich eine klimatische Abtrennung vom Außenraum zu unbeheiztem Dachraum her, weshalb für die derzeitig vorstellbare Nutzung keine intensiven Dämmmaßnahmen in Betracht gezogen werden sollen.



Abbildung 133: Holzkonstruktion im Obergeschoß des Giebelbereichs

#### Relevanz für die Sanierung:

Durch die hohe Mauerstärke von 50 cm ergeben sich für die Fenster im Erdgeschoß bereits im Bestand sehr tiefe Laibungen, die im Falle einer zusätzlichen Dämmschicht den Lichteinfall auf ein kritisches Maß verringern können und daher im Besonderen bei der Planung berücksichtigt werden müssen.



Abbildung 134: Links: Fensterlaibung im Obergeschoß (Mauerstärke 30 cm). Rechts: Fensterlaibung im Regelgeschoß (Mauerstärke 50 cm)

Die Konstruktion aus monolithischem Mauerwerk begünstigt bei allen Wandbauteilen die Anbringung der Stegträgersysteme wie auch der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten aufgrund guter Wasserdampfdiffusion. Im Innenraum stellt die Holzvertäfelung im Regelgeschoß eine Hürde für die Verwendung eines Innendämmsystems dar.

## Dachfläche – Haupttrakt (Mansarddach, Neigung oben 20°/ unten 78°)

Die Dachkonstruktion teilt sich auf in eine äußerst flachwinkelige Satteldachkonstruktion im Bereich des Haupttrakts mit Erweiterung auf die Fassadenfläche des 1. Obergeschoßes zur Nord- und Südseite hin so dass der Typus eines Mansarddaches entsteht. Konstruktiv sind diese Flächen allerdings getrennt errichtet worden. An der westlichen Seite stellt das Dach eine konstruktive Verbindung zum räumlich tiefer gelegenen sowie im 90°-Winkel versetzten Dach des Nebentrakts her, indem eine Walmdachfläche sich mit der Traufkante auf die Firstpfette des Nebentraktdaches setzt (siehe Abbildung 138).

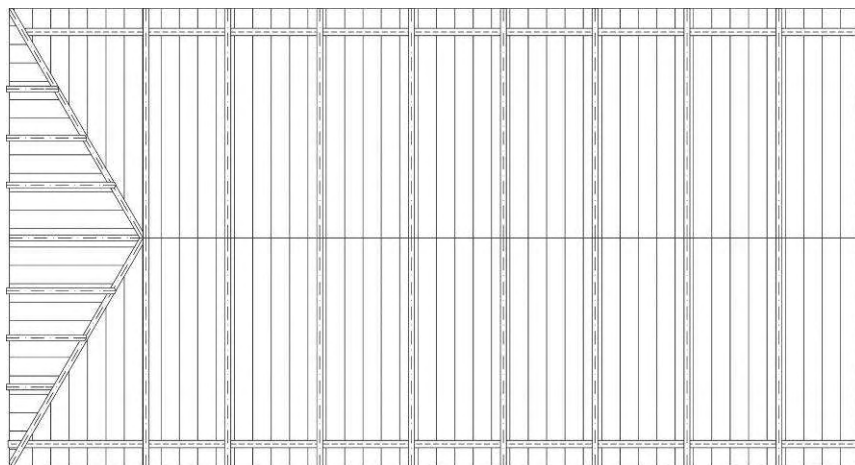


Abbildung 135: Sparrenplan Dachfläche Haupttrakt

### Relevanz für die Sanierung:

Die sehr einfache und dünnwandig ausgeführte Dachkonstruktion begünstigt vor allem die Dämmung der darunterliegenden Geschoßdecke aufgrund der gleichmäßigen Deckenkonstruktion und der sehr einfach einzubringenden Dämmschicht ohne weitere statische Verstärkungsmaßnahmen. Aber auch die Anwendung einer Aufsparrendämmung bei entsprechender konstruktiver Verstärkung wäre eine denkbare Sanierungslösung für diese Dachkonstruktion (Firstpfette sowie Mittelpfosten sollten eingefügt werden um Stabilität und Tragfähigkeit zu erhöhen).



Abbildung 136: Darstellung der obersten Dachkonstruktion (ohne Mansarddachelemente)

## Dachfläche – Nebentrakt (Krüppelwalmdach, Neigung 40°)

Diese Dachfläche zeigt hinsichtlich ihrer Form einen hohen Grad an inhomogenen Bereichen auf. Verschneidungen mit der Dachfläche des Haupttraktes führen zu einer komplexen Schnittlinie und zu konstruktiven Sonderlösungen die im Laufe der Zeit zu Beschädigungen in der Außenhaut sowie der tragenden Holzkonstruktion geführt haben. Während die innenliegenden Sparren nur geringe Beschädigungen durch Feuchtigkeitseinwirkung aufweisen zeigen die außenliegenden Sparren deutliche Anzeichen von Fäulnis und Materialschwund.

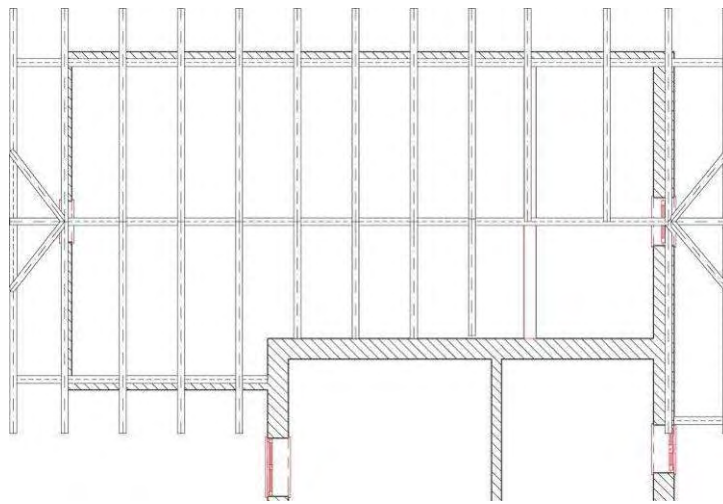


Abbildung 137: Sparrenplan Dachfläche Nebentrakt (Darstellung nicht genordet)

### Relevanz für Sanierung

Aufgrund des schlechten Zustands des Dachstuhls hat die konstruktive Sanierung sehr weitreichend zu erfolgen. Sowohl im Bereich der Holzkonstruktion wie auch der Dachschindeln werden aufgrund der Beschädigungen große Mengen vollständig ersetzt werden müssen. Diese Grundlage ermöglicht für das Sanierungskonzept eine flexible Handhabung bei der Planung so dass auch größere Änderungen mit eingearbeitet werden können, wobei auf das architektonische Gesamtbild sowie die Erhaltung der individuellen Gebäudehüllengestaltung im Dachbereich geachtet werden sollte.



Abbildung 138: Darstellung der Dachkonstruktion des Nebentrakts

## Oberste Geschoßdecken

Die obersten Geschoßdecke wurden äußerst massiv ausgeführt und können aufgrund der darüber liegenden sehr dünnwandig konstruierten Sattel- bzw. Walmdachkonstruktion als eigentlicher thermisch relevanter Gebäudeabschluß gewertet werden. Den oberen Abschluss bildet jeweils eine Lage aus gebrannten Ziegelsteinen, die ohne haftvermittelnden Mörtel auf den Deckenaufbau appliziert wurden. Die seitlichen Auflager der Dachfläche sind noch im Bereich der Außenwand ausgeführt was zu einer homogenen Oberflächenausbildung der Geschoßdecke führt.



Abbildung 139: Oberste Geschoßdecke vom Dachboden aus betrachtet

### Relevanz für die Sanierung:

Die festgestellte Konstruktion sowie die statische Ausführung eignen sich sehr gut zur horizontalen Dämmung mittels Schüttdämmstoffen da für die Verwendung von Dämmplatten eine nicht ausreichende Ebenmäßigkeit der Geschoßdecke vorliegt und somit Niveauunterschiede sehr effektiv und ohne Wärmebrücken mittels Schüttungen ausgeglichen werden können. Ein hermetischer Abschluß des Dachbodens als Schutzmaßnahme vor Schädlingseinnistung ist bei der Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen unbedingt notwendig.

## Bodenplatten EG – Haupttrakt und Nebentrakt

Ausgeführte Höhe über dem umlaufenden Bodenniveau: 30 cm. Fundamentierung nicht eindeutig, da während der Bestandserhebung keine Grabungen vorgenommen wurden. Es kann aber von einer monolithischen Ausbildung als Fundamentplatte mit darunter liegender Rollierung ausgegangen werden.

Die massive Ausführung in Beton mit hohem Anteil an grobem Kies ist aufgrund der unvollständigen Ausbildung eines Sockelputzes gut zu erkennen (siehe Abbildung 140). Die Verdichtung des Betons wurde scheinbar nur sehr ungleichmäßig ausgeführt (Schüttbodyeton), was neben der grundsätzlich fehlenden Dämmung im Schichtaufbau zusätzlich einen hohen Wärmedurchgangskoeffizienten bedingt.





Abbildung 140: Sockelzone der Außenwand mit freigelegter Bodenplatte

#### Relevanz für die Sanierung:

Aufgrund des schlechten Zustands der Oberflächen sowie der sehr inhomogenen Übergänge sind eine vollständige Entfernung im Innenraumbereich sowie eine Neuerrichtung sehr empfehlenswert. Ausnahme hiervon bildet der Raum im Nebentrakt, da hier ein Holzfußboden eingezogen wurde der mit Ausnahme einiger Stellen in der Nähe der stark feuchtebelasteten Außenwanddecken noch sehr gut erhalten ist und daher instandgesetzt werden kann. Eine vollständige Erneuerung des Untergrundaufbaus mit entsprechender Dämmung ist dennoch auch hier sehr empfehlenswert, wobei die aufgefundene Ausbildung als auch unter die Außenwände laufende Fundamentplatte erhöhten baulichen Aufwand bei den Umbaumaßnahmen bedeutet.

### **6.2.3. Erhebung konstruktiver Schäden im Bestandsmauerwerks**

Neben einer Abschätzung der Standsicherheit der Mauerkonstruktion wurden anhand einer optischen Untersuchung der Oberflächen mögliche weitere Substanzschädigungen erfasst und basierend auf diesen Ergebnissen fallweise Mauerproben entnommen und auf Feuchtigkeits- und Salzbelastung hin überprüft.

Die optische Überprüfung der statisch tragenden Außenmauern im Bezug auf Risse, welche auf statische Problembereiche hindeuten zeigte nur ein relevantes Schadensbild, welches im Bereich der Südfassade unterhalb der Giebelseite zu finden war.

Das Schadensbild zeigt einen vertikal vom Fensterbereich bis zum oberen Ende der Mauer verlaufenden Riss. Als Ursache kann ein Gewölbeschub durch die aufsitzende Dachkonstruktion angenommen werden, da der gesamte Dachboden als Holzkonstruktion ausgeführt worden ist und aufgrund der hohen Dachlast (massive Dachpfannen aus Ton) sehr hohe Normalkräfte auf darunter liegende Wandkonstruktion ausübt. Hier sollte daher bei einer Sanierung der Dachkonstruktion auf eine optimierte statische Lastabtragung geachtet werden.

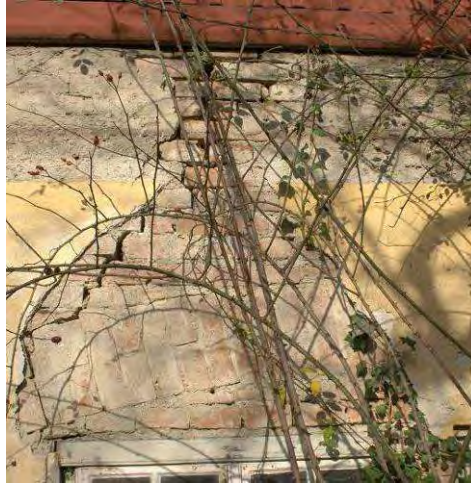


Abbildung 141: Vertikaler Riss in der südlichen Außenmauer aufgrund Seitenschubs der Dachkonstruktion

Die Überprüfungen der restlichen Wandabschnitte ergaben keine weiteren Beanstandungen, wodurch keine zusätzlichen Maßnahmen zur Bestimmung der Standsicherheit im Bestandsmauerwerk durchgeführt werden mussten.

#### **6.2.4. Erhebung von Feuchtigkeits- und Versalzungsschäden**

Neben der Sicherstellung der Standsicherheit der Wandkonstruktionen muss vor Beginn sämtlicher Sanierungsmaßnahmen welche die Außenwände des Gebäudes betreffen ein Eindruck vom Zustand der Oberflächenbeschichtung an Außen- und Innenseite gewonnen werden. Diese Bestandsanalyse ist notwendig um den jeweiligen Anforderungen der Wärmedämm-Verbundsysteme gerecht werden zu können, da sonst vor allem bauphysikalische Problembereiche entstehen können.

Nach visueller Begutachtung des Bestandsbaus konnten an der Außenseite der Außenmauern großflächige Bereiche dokumentiert werden, an denen die gesamte Putzschicht abgelöst war. Dies kann auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt werden. Im Außenbereich liegt neben einem Zusammenhang mit dem bereits im vorigen Abschnitt erwähnten statischen Problem der offenbar zu hohen Dachlast (seitlicher Schub aus der Dachkonstruktion), was zu vertikaler Rissbildung führte, auch ein starker Bewuchs der Fassade mit Efeuranken vor.



Abbildung 142: Großflächige Fehlstellen im Kalkputz der Außenfassade

Die bestehenden Putzschichten an der Außenseite der Mauern weisen eine durchschnittliche Stärke von ca. 20 mm auf. Es handelt sich hauptsächlich um eine Kalkputzmischung, jedoch sind vereinzelt Zementputzbereiche erkennbar.

Im Innenraum wurden ebenfalls schadhafte Bereiche der Putzschichten festgestellt. Neben kleineren Bereichen an denen Ablösungen des Farbanstrichs zu erkennen waren wurde an einigen Stellen Schimmelbildung festgestellt.

Anders als im Außenbereich traten alle im Innenraum festgestellten Schäden offenbar konzentriert an der Oberfläche der Putzschichten auf, ohne dass ein vollständiges Ablösen der Putzschicht von der Unterkonstruktion erkennbar ist.

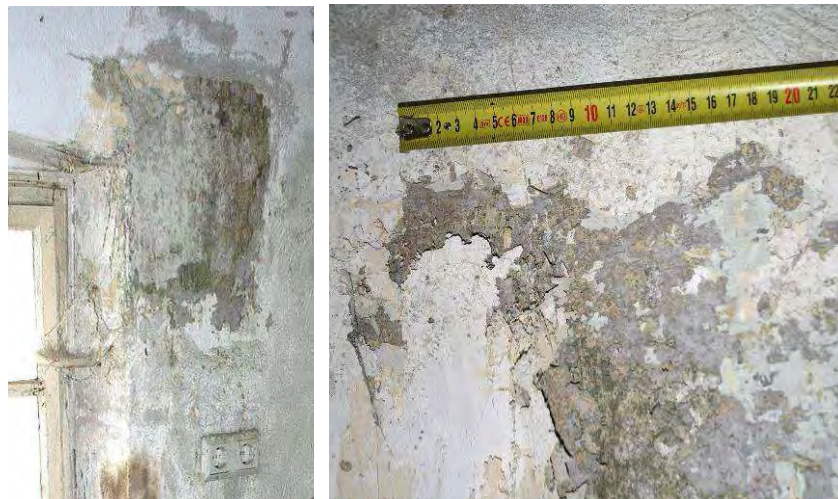


Abbildung 143: Schimmelbildung an der Oberfläche der Innenseite der Außenmauern im Erdgeschoß (nordseitig)

Diese Tatsache kann als Hinweis auf Feuchtigkeitsschäden gesehen werden, weshalb im Zuge der Bestandsermittlung eine Feuchtigkeitsmessung mit anschließender Laboruntersuchung einiger Proben durchgeführt wurde, deren Ergebnisse im folgenden in Übersicht dargestellt sind:

- Mauerfeuchte im Außenbereich der Außenwand unproblematisch (Feuchtigkeitswerte unter 15%)
- Mauerfeuchte im Innenbereich der Außenwand teilweise sehr hoch (über 20%), infolge Schimmelbildung (begründet durch Dispersionsfarbanstrich und dementsprechend nicht dampfdurchlässige Oberfläche)
- Mauerfeuchte im Bereich der Holzvertäfelung im Erdgeschoß (s. Abbildung 144) sehr gering (unter 10%), Holz völlig unbeschädigt (begründet durch Kalkfarbanstrich auf der Wand hinter der Vertäfelung statt Dispersionsfarbe, dies ermöglicht Feuchtigkeitsabgabe der Mauer an den Innenraum)



Abbildung 144: Freigelegtes Wandsegment hinter Holzvertäfelung im Erdgeschoß

Als sanierungsrelevantes Ergebnis der Feuchte- und Salzbelastungsmessungen kann festgehalten werden daß keine direkte Substanzgefährdung vorliegt, jedoch das Abschlagen der Putzschichten im Erdgeschoß an Innen- und Außenfassade zur gänzlichen Austrocknung der Mauer sowie um eine tragfähige Unterkonstruktion für weitere Aufbauten zu ermöglichen.

#### **6.2.5. Auswertung und Maßnahmenkatalog der Mindestsanierung**

Sämtliche Ergebnisse mit direkter Relevanz für die substanzsichernde Mindestsanierung sowie die grundlegende bauliche Vorbereitung der nachfolgend dargestellten thermischen Sanierungsmaßnahmen des Gebäudes sind im Folgenden nochmals aufgelistet.

- Entfernung der Oberflächenbeschichtung (Kalkputz) der Außenwände auf Innen- und Außenseite aufgrund schlechten Zustands sowie Schimmelbefall notwendig
- Drainage im Bereich der Außenmauern nicht notwendig da kapillar aufsteigende Bodenfeuchte durch geplante Sanierungsvarianten gut abtrocknen kann

- Konstruktive Standsicherheit grundsätzlich gegeben, jedoch durch eine geeignetere Dachkonstruktion zu entlasten
- Sanierung bzw. Austausch der Dachkonstruktionen notwendig, da sowohl Standsicherheit als allgemeiner konstruktiver Zustand als mangelhaft bewertet wurden
- Oberste Geschoßdecken in gutem Zustand, Sanierung mit zusätzlicher Dämmung wird empfohlen
- Fundamentplatten (Bodenplatten EG) baulich zwar intakt, Austausch aufgrund sehr schlechter Dämmwirkung jedoch sinnvoll

Eine wirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen wurde aufgrund des Demonstrationscharakters dieses Sanierungsobjekts nur in geringer Weise mit bewertet, da weitere Forschungstätigkeiten in den beschriebenen Bereichen geplant sind und daher weiteres Optimierungspotential mit Demonstrationscharakter zu erwarten steht.

### 6.3. Thermische Sanierungsvarianten

Nachdem die Standsicherheit sowie der Grad der Beschädigung der Bausubstanz festgestellt und Lösungsstrategien hierfür entwickelt wurden kann als nächster Schritt eine bauteilspezifische Analyse und Dokumentation der gesamten Gebäudestruktur erfolgen. Nur so gewinnt man die Grundlage für eine Vergleichbarkeit verschiedener Sanierungsvarianten.

In der nachfolgenden Tabelle können sämtliche relevanten Bauteile anhand ihrer Flächenanteile sowie den erforderlichen und vorhandenen U-Werten ersehen werden:

Bauteil	Spezifizierung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Bestand [W/m <sup>2</sup> *K]	U-Wert erforderlich* [W/m <sup>2</sup> *K]
Außenwand	50 cm Wandstärke	44,24	1,09	0,40
	30 cm Wandstärke	148,46	1,58	0,40
OGD	Haupttrakt	46,27	0,97	0,20
	Nebentrakt	33,07	0,97	0,20
Dach	Haupttrakt	79,73	2,30	0,22
	Nebentrakt	57,22	2,30	0,22
Bodenplatten	Haupttrakt	55,39	1,90	0,40
	Nebentrakt	39,76	1,90	0,40
Fenster	Kastenfenster	14,62	2,20	1,80
	Einfachverglasung	2,39	4,20	1,80

\* erforderlicher U-Wert gemäß Bauordnung des Landes NÖ

Tabelle 44: Bauteilspezifische Flächenangabe sowie U-Werte des Bestands

Um die Anwendbarkeit der in den Kapiteln 4 und 5 entwickelten Systemlösungen am ausgewählten Sanierungsobjekt zu überprüfen und vergleichbar zu machen wird eine

gemeinsame Basis mittels eines Mindestsanierungsstandards zu schaffen. Danach werden die Varianten Außen- und Innendämmung gezielt analysiert und bewertet.

Abschließend wird in jedem Unterkapitel der resultierende Heizwärmebedarf als Kennwert zur quantitativen Vergleichbarkeit der Sanierungsvarianten ermittelt sowie eine abschließende Bewertung durchgeführt.

### **6.3.1. Thermische Grundsanierung**

Im folgenden Kapitel werden Standardlösungen für die energetische Sanierung jener Bauteile erstellt, die nicht durch die entwickelten Systemlösungen abgedeckt werden aber eine hohe Relevanz für die zu erzielende Energiekennzahl besitzen. Die Auswahlkriterien für diese spezifischen Systemlösungen sind neben einer möglichst effektiven Dämmwirkung auch folgende, eine ökologisch sowie bauphysikalisch optimierte Konstruktion fokussierende Aspekte:

- möglichst hoher Anteil an Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen
- gute Recyclierbarkeit der verwendeten Baustoffe nach Rückbau
- möglichst geringer Materialmix
- dampfdiffusionsoffener Aufbau der nicht erdberührenden Bauteile

Neben den Außenwandflächen, die für die Anwendung der entwickelten Lösungen separat behandelt werden sollen und auch flächenmäßig mit 52,3 % den größten Anteil an der gebäudespezifischen Gesamtoberfläche darstellen (192,70 m<sup>2</sup> Nettfläche), sollen die Gebäudeabschlüsse nach oben und unten sowie die Fenster im Bezug auf mögliche Sanierungslösungen betrachtet werden.

Da im konkret vorliegenden Fall sehr günstige Bedingungen zur Dämmung der obersten Geschoßdecke festgestellt wurden wird diese Variante für das vorliegende ganzheitliche Sanierungskonzept der Dämmung der Dachkonstruktion vorgezogen und daher eine rein konstruktive Instandsetzung derselben in der Planung eingearbeitet.

#### **Dämmkonzept ‚Bodenplatten / Fundamente‘**

Auf Basis der Bestandsaufnahme ist ein vollständiges Entfernen der alten Bodenplatte vorzunehmen. Im Zuge dieser Maßnahme soll eine möglichst ökologisch unbedenkliche Dämmstoffvariante zum Einsatz kommen. Wie auch bereits als Lösung für die Perimeterdämmung der Außenwände (siehe Kapitel 4.6.3) kann hier die als Recyclingprodukt aus Altglas hergestellte Glasschaumplatte verwendet werden. Dieses Produkt zeichnet sich neben dem positiven ökologischen Profil durch gute Dämmeigenschaften sowie hohe Druckfestigkeit und vollständige Unempfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeitseinwirkungen aus.

Für eine Ausführung gemäß den notwendigen Dämmstandards (Bauordnung NÖ) ist auf Basis des zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten (Grenzwert) bei reiner Verwendung der Glasschaumplatten ein eine Schichtdicke von 20 cm unter der Betonplatte auszuführen. Für die Sanierung kann dieses Bauteil allerdings wesentlich effizienter gedämmt werden, da keine konstruktiven Einschränkungen vorliegen und somit auch für spätere Ausbaustufen einer thermischen Sanierung die notwendigen U-Werte z.B. zur Erreichung des Passivhaus-Standards möglich sind.

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht die Kenndaten des Bauteils und stellt die U-Werte von Bestand, baubehördlicher Anforderungsseite sowie der getroffenen Sanierungsvariante gegenüber.

Bauteil Bodenplatten / Fundamentplatten					
Bruttofläche	Durchbrüche	Nettofläche	U-Wert Bestand	U-Wert Anforderung	U-Wert nach Sanierung
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
81,05	0	81,05	<b>1,90</b>	0,40	<b>0,12</b>

Tabelle 45: Bauteil Bodenplatten

Der erforderliche konstruktive Schichtaufbau für die neu zu erstellenden Fundamentplatten gemäß der erhöhten Dämmstärken sowie die dem entsprechende Berechnung des U-Wertes kann der folgenden Darstellung entnommen werden.

Bauteilbezeichnung: <b>DD03 Sanierte Bodenplatte mit untenliegender Dämmung</b>							
Bauteiltyp: <b>Außendecke, Wärmestrom nach unten</b>							
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert 0,12 [W/m<sup>2</sup>K]</b>							
<b>Konstruktionsaufbau und Berechnung</b>							
	<b>Baustoffschichten</b>	<b>d</b>	<b>μ</b>	<b>λ</b>	<b>R = d / λ</b>	<b>ρ</b>	<b>ρ*d</b>
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.	Durchlaßw.	Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Estrich	0,070	50	1,330	0,053	2.000	140,0
2	zementgeb. Schüttung (Kies)	0,050	2	0,700	0,071	1.800	90,0
3	Perlit mit Asphalt	0,100	25	0,050	2,000	150	15,0
4	Feuchtigkeitsabdichtung	0,003	25.000	0,190	0,016	1.000	3,0
5	Stahlbeton	0,200	100	2,300	0,087	2.400	480,0
6	Glapor Glasschaumplatten	0,400	120	0,067	5,970	40	16,0
7	Rollierung *	0,100	2	0,700	0,143	1.800	180,0
Bauteildicke (wärmetechnisch relevant) [m]		<b>0,823</b>					
Bauteildicke gesamt [m]		<b>0,923</b>					

Abbildung 145: U-Wert-Berechnung und konstruktiver Aufbau für sanierte Fundamentplatte

### Zwischenergebnis:

Aufgrund des flächenbezogenen Anteils dieser Bauteile an der gesamten Gebäudehülle von insgesamt 19,6 % sowie der deutlichen Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten aufgrund der geplanten thermischen Sanierung kann eine Verringerung des gebäudespezifischen Heizwärmebedarfs um 17,3 % erreicht werden ( $HWB_{\text{Bestand}} 452,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,  $HWB_{\text{OGD, saniert}} 374,47 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

### Dämmkonzept ‚Oberste Geschoßdecke‘

Zur Erreichung der seitens der niederösterreichischen Bauordnung als Mindeststandard definierten U-Werts dieses Bauteils von  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  kann eine reine Dämmung zwischen den Holztramelementen erfolgen. Hierfür ist die Verwendung eines Schüttdämmstoffs (z.B. Perlite, Zellulose, Hanfschäben) als geeignete Lösung zu sehen.

Die Verwendung einer für diesen Anwendungsfall aufgrund der ermittelten Materialkennwerte gut geeigneten Schüttung aus Schilfhäcksel soll hier beispielhaft für den angenommenen Schichtaufbau aufgezeigt werden.

Um für dieses Bauteil wie bei der gewählten Lösung für die erdberührten Bodenplatten im Erdgeschoß eine optimale Lösung zur Ermittlung eines nicht von einzelnen peripheren Bauteilen stark verschlechterten gesamten Heizwärmebedarfs zu ermöglichen wird für die Sanierung von einem höheren Dämmstandard ausgegangen, der im folgenden dargestellt ist.

Bauteil Oberste Geschoßdecken (GD-01 und GD-02)					
Bruttofläche	Durchbrüche	Nettofläche	U-Wert Bestand	U-Wert Anforderung	U-Wert nach Sanierung
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
81,05	2	79,05	<b>0,97</b>	0,20	<b>0,10</b>

Tabelle 46: Bauteil Oberste Geschoßdecke

Um den gewünschten passivhaustauglichen U-Wert von  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  zu erreichen kann eine Erweiterung der Schüttung über den Bereich der Tramdecke erfolgen. So wird eine homogene Dämmschicht ohne Wärmebrücken erzeugt, jedoch muss bei der Planung einer Schüttung darauf geachtet werden dass eine Begehbarkeit gewährleistet ist.



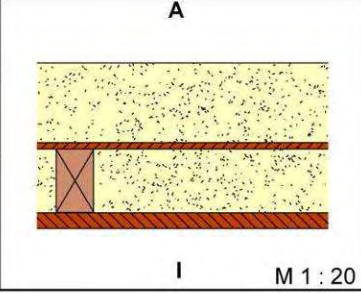
Bauteilbezeichnung: <b>AD01 Oberste Geschloßdecke, saniert</b>								
Bauteiltyp: <b>Decke zu unconditioniertem geschloss. Dachraum</b>								
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b> berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert</b> <b>0,10 [W/m²K]</b>								
<b>Konstruktionsaufbau und Berechnung</b>								
	<b>Baustoffschichten</b>	<b>d</b>	<b>μ</b>	<b>λ</b>	<b>Anteil</b>	<b>ρ</b>	<b>ρ*d</b>	
	von außen nach innen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.		Dichte	Flächengew.	
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[%]	[kg/m³]	[kg/m²]	
1	Schilfgranulatschüttung	0,250	2	0,045		150	37,5	
2	Schalung	0,020	50	0,140		450	9,0	
3	Holz-Tramdecke dazw.		50	0,200	24,0	450	21,6	
	Schilfgranulatschüttung	0,200	2	0,045	76,0	150	22,8	
5	1.324.02 Holzfaserdämmplatte	0,050	5	0,045		150	7,5	
Bauteildicke [m]		<b>0,520</b>						
Flächenbezogene Masse des Bauteils [kg/m²]						<b>98,4</b>		

Abbildung 146: U-Wert-Berechnung und konstruktiver Aufbau für sanierte OGD

### Zwischenergebnis:

Durch die beschlossenen Maßnahmen der thermischen Dämmung für diesen Bauteil kann aufgrund des flächenbezogenen Anteils dieses Bauteils an der gesamten Gebäudehülle von 21,5 % eine Verringerung des Heizwärmebedarfs bei ansonsten gleichbleibenden Bauteilkennwerten um im Verhältnis zum Bestandsbau 17,7 % erreicht werden ( $HWB_{\text{Bestand}} 452,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,  $HWB_{\text{OGD, saniert}} 372,51 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

### Dämmkonzept ‚Fenster‘

Da die im Bestand vorgefundenen Kastenfenster einen für konventionelle Einfach-Verglasungen verhältnismäßig guten U-Wert besitzen kann hier anhand eines häufig im Bereich der denkmalschutzrelevanten Sanierung praktizierten Verfahrens vorgegangen werden.

Die zweiteilig aufgebauten Kastenfenster können innerhalb des neuen Wandaufbaus nach außen versetzt werden, so daß der äußere Flügel nach einer konstruktiven Sanierung wieder verwendet werden kann und somit das Fassadenbild nicht verändert wird.

Der innere Flügel sollte allerdings durch eine moderne, dem Original in der Gestaltung nachempfundene Variante getauscht werden, wodurch insgesamt sowohl am Erscheinungsbild nur wenig geändert und gleichzeitig ein den heutigen Anforderungen entsprechender Dämmstandard erreicht wird.

Der flächenmäßig geringe Anteil an einfach verglasten Fenstern sowie die Situierung nur im Bereich der Nordfassade ermöglichen einen vollständigen Austausch mit entsprechend optimierten U-Werten.

Bauteil Fenster (Kastenfenster und Einfachverglasung)					
Kastenfenster Gesamtfläche	E-Verglasung Gesamtfläche	Gesamt- fläche	U-Wert Bestand	U-Wert Anforderung	U-Wert nach Sanierung
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
14,62	2,39	17,01	<b>2,2 / 4,2</b>	1,80	<b>1,10</b>

Tabelle 47: Bauteil Fenster (Kastenfenster und Einfachverglasung)

Da keine direkte Relevanz für die Projektinhalte besteht wird auf eine detaillierte Darstellung möglicher konstruktiver Lösungen zur Einhaltung des angegebenen U-Werts für die Fenster verzichtet. Es kann daher auf entsprechende planerische Umsetzungen in bestehender Fachliteratur verwiesen werden.

Die Verbesserung der Fenster um den oben dargestellten Wert wirkt sich auf den Energiebedarf des Gesamtgebäudes nicht in erheblichem Maße aus. Durch die geplanten Maßnahmen kann durch den flächenbezogenen Anteil der Fenster an der gesamten Gebäudeaußenhülle von lediglich 17 % eine Verbesserung um 2,3 % ( $\text{HWB}_{\text{Bestand}} 452,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,  $\text{HWB}_{\text{F, saniert}} 442,06 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) erzielt werden.

### 6.3.2. Variante 1 – Außendämmung

Die Vorteile der im Projekt entwickelten Konstruktionstypen für die Außendämmung werden im folgenden Abschnitt anhand der einzelnen spezifischen Außenwandbereiche und deren individuellen konstruktiven Grundvoraussetzungen gemäß dem zuvor erstellten Bauteilkatalog überprüft und hinsichtlich konstruktiver und wirtschaftlicher Kriterien bewertet. Die Wahl des jeweils gewählten Konstruktionstyps wird anhand der vorhandenen architektonischen Randbedingungen dargestellt und begründet, was vor allem für den hier gezeigten Anwendungsfall im Sanierungsbereich eine erhöhte Bedeutung besitzt und dementsprechend gewertet wird.

Die nachfolgenden schematischen Darstellungen des Sanierungskonzepts für den Anwendungsfall Außendämmung umfassen beide entwickelte Systemlösungen (Konstruktionstyp 1 und 2 aus Kapitel 4) und zeigen diese im Bestandsplan für Erdgeschoß und Obergeschoß.

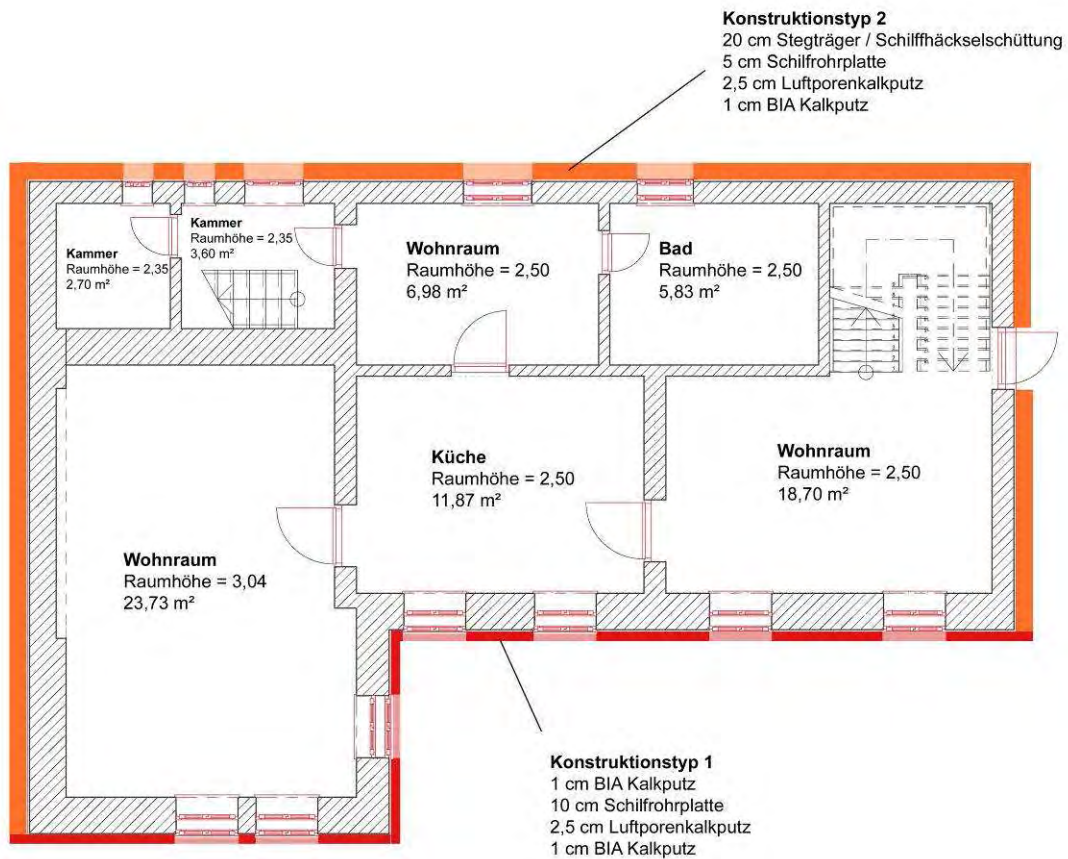


Abbildung 147: Grundrisschema EG für Sanierungsvariante „Außendämmung“

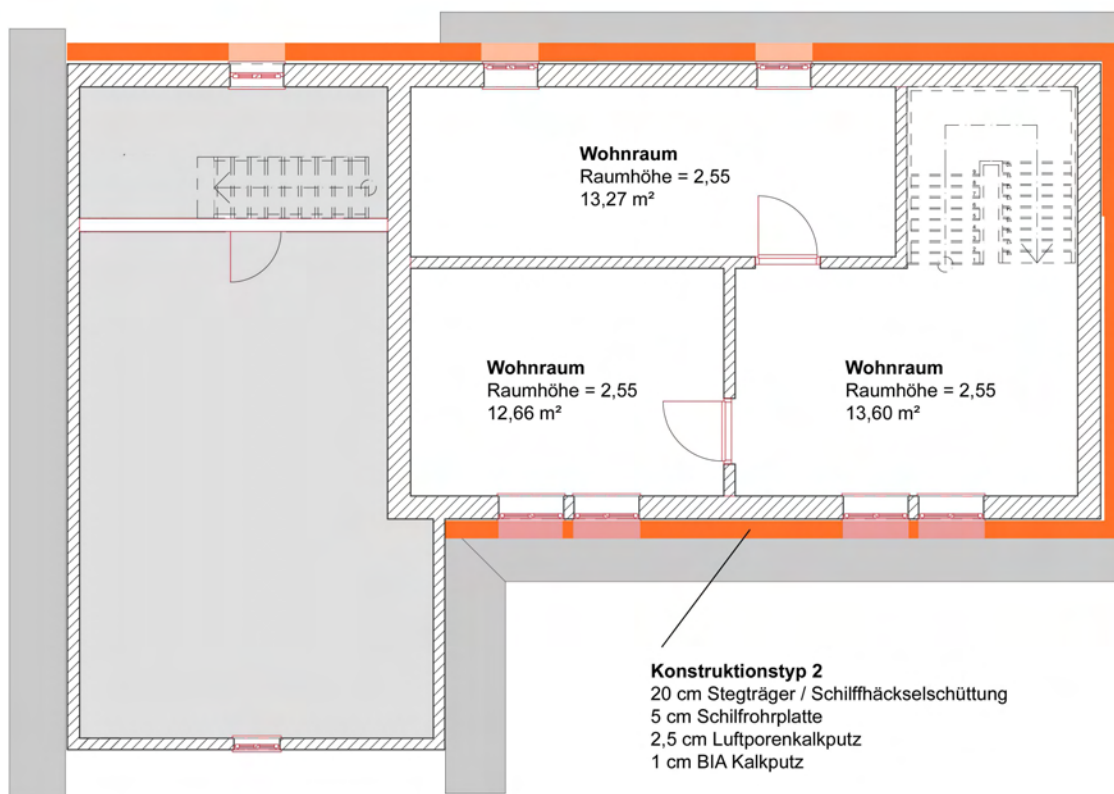


Abbildung 148: Grundrisschema OG für Sanierungsvariante „Außendämmung“

Anhand der nachfolgenden Betrachtung der einzelnen Außenwand-Abschnitte werden die einzelnen Sanierungsmaßnahmen sowie die anschließende Bewertung nacheinander im Detail untersucht. Die Einzeldarstellung umfasst jeweils die relevanten Kenndaten (Brutto- und Nettofassadenfläche), sowie die U-Werte des Bestandsbaus sowie der vorgestellten thermischen Sanierungsvariante. Grundsätzlich wurden für jedes Bauteil beide Konstruktionstypen in Erwägung gezogen und die Entscheidung aufgrund jeweilig passender Anforderungen oder einer spezifischer Eignung eines Typs getroffen.

Bauteil AW-01 - Wandstärke: 50 cm				
Bruttofläche	Fensterfläche	Nettofläche	U-Wert Bestand	U-Wert Variante 1
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
51,13	6,885	44,245	1,090	0,360

Tabelle 48: Bauteil AW-01 Variante 1

### Konstruktiver Aufbau und U-Wert-Berechnung

Bauteilbezeichnung: <b>AW-01 Variante 1</b>							
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>							
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert 0,36 [W/m<sup>2</sup>K]</b>							
Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	d	μ	λ	R = d / λ	ρ	ρ*d
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.	Durchlaßw.	Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1	BIA NHL 5 Innenputz	0,025	6	0,900	0,028	1.800	45,0
2	Vollziegelmauerwerk	0,500	10	0,700	0,714	1.600	800,0
3	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0
4	Schilfplatte thermoplastgebunden	0,100	2	0,055	1,818	140	14,0
5	Luftporenkalkputz	0,025	6	0,400	0,063	1.200	30,0
6	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0
Bauteildicke [m]		<b>0,670</b>					

Abbildung 149: Konstruktion und U-Wert-Berechnung für Bauteil AW-01 Variante 1

### Kurzbeschreibung der Sanierungsmaßnahme

Dämmung der Außenwand mittels Konstruktionstyp 1 aufgrund hoher Wandstärke und entsprechend bereits bestehender tiefer Fensterlaibungen. Einhaltung der Mindestanforderung für die Dämmung gemäß dargestellter U-Wert-Berechnung.

### Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung

Tragfähigkeit des Mauerwerks ist gegeben. Fensteröffnungen sind großflächig vorhanden, Ausschnitte in der Dämmebene können aufgrund des flexiblen Zuschnitts der Schilfrohrplatten präzise und kosteneffizient gesetzt werden. Aufgrund der hohen Anzahl an

Mauerdurchbrüchen muss allerdings eine erhöhte Anzahl von Befestigungsmitteln angenommen werden, welche sich negativ auf die Kostenbilanz auswirkt. Die Dämmung über den horizontalen Mauerversprung (Reduktion von 50 zu 30cm Mauerstärke) vom ersten zum zweiten Geschoß muss weiterhin konstruktiv mit berücksichtigt werden (siehe Detailkonstruktion in Abbildung 152).

### Architektonische Betrachtung

Die bereits vorhandene hohe Mauerstärke des Bauteils bewirkt bei zusätzlicher Dämmung sehr schlechte Belichtungsverhältnisse aufgrund der großen Laibungstiefen. Das Kastenfensterprinzip sollte daher erhalten bleiben um die Fenster möglichst weit nach außen in die Dämmschichtebene versetzen zu können und einen maximalen Lichteinfall zu bewirken.

Bauteil AW-02 - Wandstärke: 50 cm (teilweise 30 cm)				
Bruttofläche	Fensterfläche	Nettofläche	U-Wert Bestand	U-Wert Variante 1
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
22,73	0	22,73	1,090	0,163

Tabelle 49: Bauteil AW-02 Variante 1

### Konstruktiver Aufbau und U-Wert-Berechnung

Bauteilbezeichnung: <b>AW-02 Variante 1 Konstruktionstyp 2</b>	
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>	
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert 0,16 [W/m<sup>2</sup>K]</b>	

Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	d	μ	λ	Anteil	ρ	ρ*d
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähig.		Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1	BIA Kalkputz	0,020	6	0,900		1.800	36,0
2	Vollziegelmauerwerk	0,500	8	0,700		1.600	800,0
3	Lignotrend dazw.		50	0,069	9,4	450	8,5
	Schilfgranulat	0,200	2	0,045	90,6	150	27,2
5	Schilfplatte P.14, aussen	0,050	2	0,055		140	7,0
6	BIA - Luftporenkalkputz	0,025	6	0,400		1.300	32,5
7	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900		1.800	18,0
	Bauteildicke [m]	<b>0,805</b>					

Abbildung 150: Konstruktion und U-Wert-Berechnung für Bauteil AW-02 Variante 1

### Kurzbeschreibung der Sanierungsmaßnahme

Dämmung der Außenwand mittels Konstruktionstyp 2 aufgrund fehlender Fenster und somit einer lückenlos anwendbaren Dämmschichtebene. Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten um 75 %.

### Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung

Tragfähigkeit des Mauerwerks ist gegeben, daher ist die Anbringung der Stegträger problemlos durchführbar. Die unterschiedliche Wandstärke stellt für die Anwendung einer Außendämmung kein Hindernis dar, da zur Außenseite hin eine homogene Oberfläche vorliegt. Das vollständige Fehlen von Fenster- oder Türöffnungen macht eine sehr kosteneffiziente Anbringung des Systems möglich. Der Eckanschluss zu Bauteil AW-01 muss aufgrund des Systemwechsels gesondert betrachtet werden. Hierzu wurde eine konstruktive Detaillösung entwickelt (siehe Abbildung 153).

### Architektonische Betrachtung

Die geschlossene Oberfläche dieses Bauteils ermöglicht eine vollflächige Anbringung des Wärmedämmverbundsystems ohne Unterbrechungen. Bei einer entsprechenden Anpassung der Dachkonstruktion an die erweiterten Außenabmessungen kann die angestrebte Dämmschichtstärke ohne Einbußen für das architektonische Gesamtbild ausgeführt werden.

Bauteil AW-03 - Wandstärke: 30 cm				
Bruttofläche	Fensterfläche	Nettofläche	U-Wert Bestand	U-Wert Variante 1
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
36,14	1,615	34,525	1,584	0,171

Tabelle 50: Bauteil AW-03 Variante 1

### Konstruktiver Aufbau und U-Wert-Berechnung

Bauteilbezeichnung: <b>AW-03 Variante 1</b>	
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>	
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert            0,17 [W/m<sup>2</sup>K]</b>	

Konstruktionsaufbau und Berechnung							
	Baustoffschichten	d	μ	λ	Anteil	ρ	ρ*d
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.		Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1	BIA Kalkputz	0,020	6	0,900		1.800	36,0
2	Vollziegelmauerwerk	0,300	8	0,700		1.600	480,0
3	Lignotrend dazw.		50	0,069	9,4	450	8,5
	Schilfgranulat	0,200	2	0,045	90,6	150	27,2
5	Schilfplatte, thermoplastgebunden	0,050	2	0,055		140	7,0
6	BIA - Luftporenkalkputz	0,025	6	0,400		1.300	32,5
7	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	0	0,900		1.800	18,0
	Bauteildicke [m]	<b>0,605</b>					

Abbildung 151: Konstruktion und U-Wert-Berechnung für Bauteil AW-03 Variante 1

### **Kurzbeschreibung der Sanierungsmaßnahme**

Dämmung der Außenwand mittels Konstruktionstyp 2 aufgrund der im Verhältnis zu AW-01 und AW-02 geringeren Mauerstärke sowie aufgrund der geringen Fenster- und Türöffnungen. Verbesserung des spezifischen Wärmedurchgangskoeffizienten um den Faktor 9 aufgrund der geringeren Dämmwirkung der Bestandskonstruktion.

### **Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung**

Tragfähigkeit des Mauerwerks ist gegeben, daher ist die Anbringung der Stegträger problemlos durchführbar. Wiederum ist eine sehr kosteneffiziente Anbringung aufgrund weniger Unterbrechungen der Oberfläche möglich. Im Obergeschoß muss der seitliche Anschluss an die Mansarddachkonstruktion mit berücksichtigt werden, ist jedoch aufgrund der notwendigen Neuerrichtung des Dachstuhls rein planerisch und somit mit geringem zusätzlichen Kostenaufwand zu lösen. Eckanschlüsse im Regelgeschoß können als Standardlösung ausgeführt werden.

### **Architektonische Betrachtung**

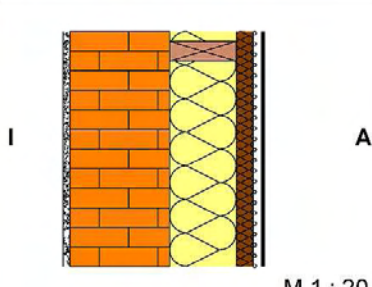
Die fast gänzlich geschlossene Oberfläche dieses Bauteils ermöglicht eine vollflächige Anbringung des Wärmedämmverbundsystems ohne Unterbrechungen über beide Geschoßhöhen. Die Dachkonstruktion kann mittels konstruktiver Auskragungen nach Anbringung der Dämmkonstruktion die ursprünglich vorhandene Formgebung wieder erhalten und somit den Gesamtcharakter des Gebäudes stärken.

<b>Bauteile AW-04 / AW-05 - Wandstärke: 30 cm</b>				
<b>Bruttofläche</b>	<b>Fensterfläche</b>	<b>Nettofläche</b>	<b>U-Wert Bestand</b>	<b>U-Wert Variante 1</b>
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
91,03	9,18	81,85	1,584	0,171

Tabelle 51: Bauteil AW-04 und AW-05 Variante 1

## Konstruktiver Aufbau und U-Wert-Berechnung

Siehe

Bauteilbezeichnung: <b>AW-03 Variante 1</b>	
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>	
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert 0,17 [W/m²K]</b>	

M 1 : 20

### Konstruktionsaufbau und Berechnung

	Baustoffschichten	d	$\mu$	$\lambda$	Anteil	$\rho$	$\rho \cdot d$
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.		Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[%]	[kg/m³]	[kg/m²]
1	BIA Kalkputz	0,020	6	0,900		1.800	36,0
2	Vollziegelmauerwerk	0,300	8	0,700		1.600	480,0
3	Lignotrend dazw.		50	0,069	9,4	450	8,5
	Schilfgranulat	0,200	2	0,045	90,6	150	27,2
5	Schilfplatte, thermoplastgebunden	0,050	2	0,055		140	7,0
6	BIA - Luftporenkalkputz	0,025	6	0,400		1.300	32,5
7	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	0	0,900		1.800	18,0
	Bauteildicke [m]	<b>0,605</b>					

Abbildung 151 (Bauteil AW-03)

### Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung

Tragfähigkeit des Mauerwerks ist gegeben, daher ist die Anbringung der Stegträger problemlos durchführbar. Die im Erdgeschoßbereich des Bauteils AW-04 zahlreich vorhandenen und in ihren Abmessungen sehr unterschiedlichen Fenster stellen eine erhebliche Erhöhung des Aufwands bei der Ausführung der Dämmschicht dar, können aber aufgrund der nordseitigen Orientierung dieser Wandfläche und der damit nur geringen Bedeutung für die Belichtungssituation mit besonderer Beachtung auf die Dämmwirkung ausgeführt werden. Im Bereich des Obergeschoßes weisen die Bauteile AW-04 und AW-05 die gleiche konstruktive Ausformung aus und können daher identisch ausgeführt werden.

### Architektonische Betrachtung

Im Bauteil AW-04 erfordert der Übergang von Trauf- zu Giebelseite, welcher den Anschluß von Haupt- an den Nebentrakt äußerlich in der Fassadengestaltung sichtbar macht, sensible Lösungen bei den Anschlüssen an die Walmdachkonstruktion des Nebentrakts. Diese können jedoch aufgrund der geplanten Neuerrichtung der Dachaufbauten sowohl im Haupt- wie im Nebentrakt planerisch ohne großen Zusatzaufwand eingearbeitet werden.

Für das Sanierungskonzept stellt die Beibehaltung der ursprünglichen Dachform inklusive des im Obergeschoß vorhandenen Mansarddaches welches die Bauteile AW-04 und AW-05 in gleichem Maße betrifft eine wesentliche Zielsetzung dar. Für die Umsetzung der Dachkonstruktion können Standardlösungen für Anschlüsse an Stegträgersysteme Verwendung finden, da die Anwendung des Konstruktionstyps 2 für Außendämmung flexible Komponentenausbildungen ermöglicht. Vor allem durch die Einarbeitung bereits zertifizierter



Systemkomponenten in das WDVS konnte hierbei bestehendes Know-How in die bauphysikalisch und ökologisch optimierte Variante mit verwendet werden.

## Konstruktive Sonderlösungen

Um eine umfassende Sanierungslösung mit Betrachtung aller notwendigen Detailpunkte zu gewährleisten wurden für die beschriebenen Anwendungsfälle Detaillösungen zur konstruktiven Umsetzung von Sonderkonstruktionen entwickelt.

### Detaillösung 1 – Vertikaler Systemwechsel

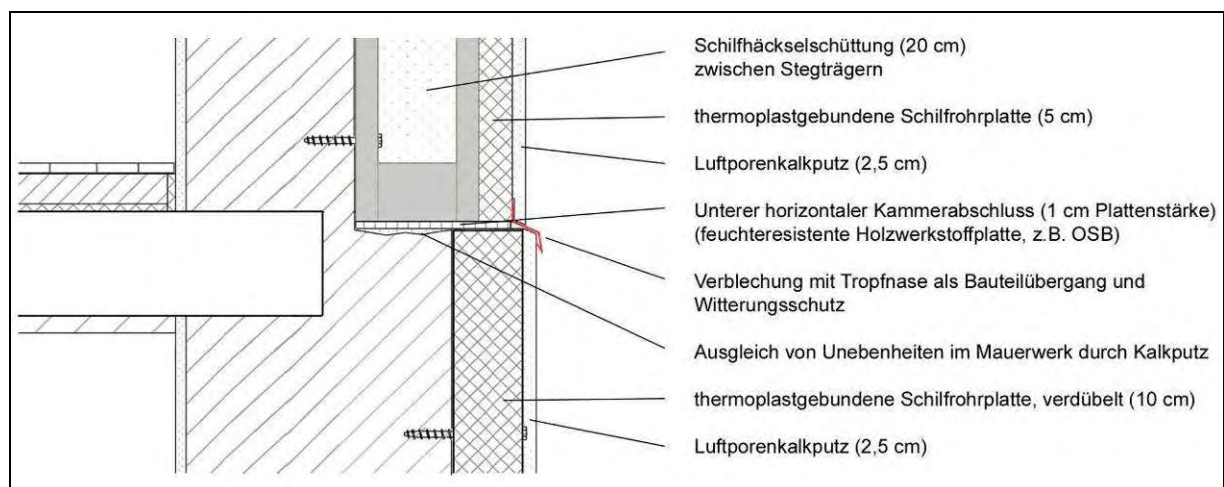


Abbildung 152: Anschlussdetail Geschoßsprung von 50 zu 30 cm Mauerstärke

Aufgrund der in diesem Bereich nur unvollständig vorgenommenen Bestandsanalyse können keine detaillierten Angaben zu weiteren, dieses Konstruktionsdetail betreffenden baulichen Einschränkungen gemacht werden.

## Detaillösung 2 – Horizontaler Systemwechsel

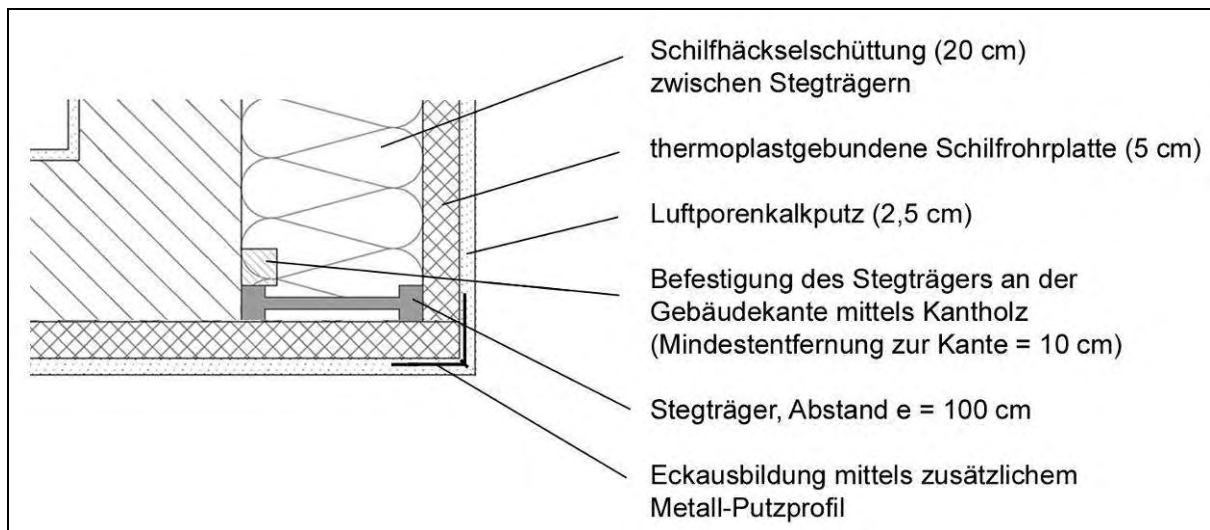


Abbildung 153: Anschlussdetail horizontaler Systemwechsel an Gebäudekante

Die gezeigte Detaillösung kann in dieser Form auch für vertikale Abstufungen angewendet werden, wobei jedoch jeweils eine Anpassung an weitere bauliche Gegebenheiten zu erfolgen hat.

### Darstellung der Ergebnisse

Die folgende Tabelle zeigt nochmals die durch das Sanierungskonzept für die Variante Außendämmung erzielten Verbesserungen im Vergleich zu Bestand und geforderten Mindeststandards für die jeweiligen Bauteile.

Bauteil	Spezifizierung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Bestand [W/m <sup>2</sup> *K]	U-Wert Anforderung [W/m <sup>2</sup> *K]	U-Wert Sanierung [W/m <sup>2</sup> *K]
AW-01	50 cm Wandstärke Süd­fassade Erdgeschoß	44,24	1,09	0,40	0,36
AW-02	50 cm Wandstärke West­fassade Erdgeschoß	28,56	1,09	0,40	0,16
AW-03	30 cm Wandstärke Ost­fassade Erd- und Obergeschoß	34,52	1,58	0,40	0,17
AW-04	30 cm Wandstärke Nord­fassade Erd- und Obergeschoß	67,55	1,58	0,40	0,17
AW-05	30 cm Wandstärke Süd­fassade Obergeschoß	14,35	1,58	0,40	0,17

Tabelle 52: U-Werte der Außenwandbauteile von Bestand, Anforderung und bei Anwendung von Sanierungsvariante 1

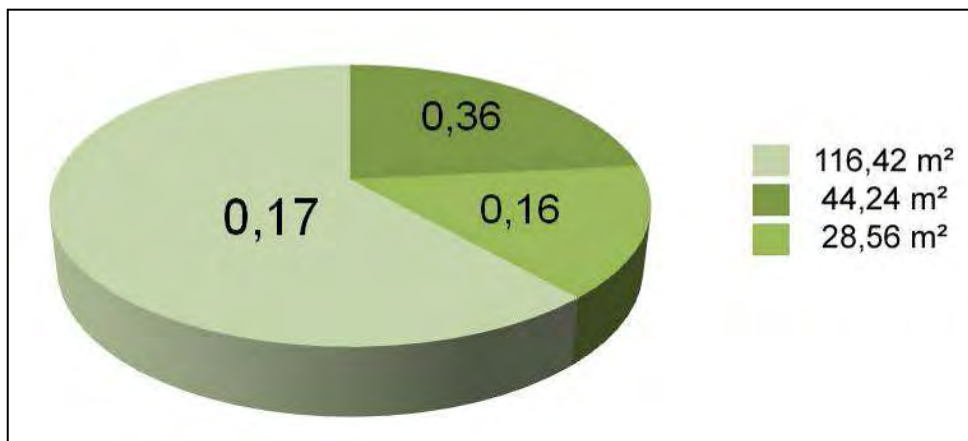


Abbildung 154: Flächenanteile der erreichten U-Werte (in W/m²K) der Außenmauern bei Außendämmung

### Auswertung der Energiekennzahl

Diese Variante erreicht eine Verringerung des Heizwärmebedarfs bei Anwendung aller beschriebenen Maßnahmen zur Dämmung der Außenwände um **42,1 %** ( $\text{HWB}_{\text{Bestand}} 452,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,  $\text{HWB}_{\text{V}_1} 262,40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

Kombiniert man diese Maßnahmen mit der im Vorkapitel dargestellten Konzeption zur Dämmung der übrigen Bauteile nach möglichst effizienten Kriterien, so erhält man als Gesamtergebnis für den Heizwärmebedarf des sanierten Gebäudes den Wert von  $45,03 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , was einer Verbesserung um insgesamt  $90,05 \%$  also um den **Faktor 10** entspricht. Da die Grundlage dieser Berechnung noch auf die Verwendung einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung verzichtet, so daß von einer Luftwechselzahl von  $0,4$  ausgegangen wird, kann bei Anwendung einer solchen Lüftungsanlage ein noch höheres Einsparungspotential erreicht werden.

### Ökologische Betrachtung

Berücksichtigt man den  $\text{CO}_2$ -Äquivalenzwert des verwendeten Dämmstoffs Schilfs, der sowohl als Schilfrohrplatte wie auch als Schilfhäckselschüttung im vorgestellten Sanierungskonzept eingesetzt werden soll, kann eine Quantifizierung hinsichtlich der Klimaschutzrelevanz dieser Sanierungsmaßnahme vollzogen werden.

Aus diesem Grund erfolgt eine Berechnung der zur Erstellung der Dämmung benötigten Mengen an Schilfrohr.

Gesamtfläche Außenwand gedämmt mit Konstruktionstyp 1:	44,20 m <sup>2</sup>
Ausgeführte Schichtstärke der Dämmung:	10,00 cm
Gesamtfläche Außenwand gedämmt mit Konstruktionstyp 2:	144,98 m <sup>2</sup>
Ausgeführte Schichtstärke der Dämmung:	25,00 cm
Abzüge durch Stegträgerdämmung:	- 2 cm (8% Volumenanteil)
Resultierendes benötigtes Dämmstoffvolumen:	37,76 m <sup>3</sup>

Aufgrund der Rohdichte von 150 kg / m<sup>3</sup> sowie des CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwertes von -1,60 kg (Quelle: IBO-Baustoffkatalog), was einer effektiven CO<sub>2</sub>-Speicherung anstatt des bei konventionellen Dämmstoffen üblicherweise anzutreffenden Verbrauchs von CO<sub>2</sub> entspricht, ergibt sich eine **Gesamtspeicherung von 9,1 t CO<sub>2</sub>**.

### **Abschließende Bewertung: Sanierungskonzept 1 (Außendämmung)**

Die Konzeption der Anwendung der Konstruktionstypen für die Außendämmung hat für das Sanierungsobjekt klar aufgezeigt dass eine reine Anwendung von Konstruktionstyp 2 zur Erreichung möglichst hoher Dämmschichtdicken und der damit verbundenen Verringerung des Heizwärmebedarfs keinesfalls zielführend ist.

Um den Anforderungen, die sich aus konstruktiven wie formgestalterischen Rahmenbedingungen ergeben können, gerecht werden zu können bedarf es flexibler Lösungen die bauphysikalisch wie konstruktiv kombinierbar sind. Die gleichzeitige Verwendung beider Konstruktionstypen scheint daher eine sinnvolle Option und ermöglicht qualitativ wie planerisch hochwertige Lösungen für den Individualfall.

### **6.3.3. Variante 2 – Innendämmung**

Die Anwendung der in Kapitel 5 entwickelten Innendämmungsvarianten können sehr gut auf ihre Tauglichkeit hin am Bestandsbau überprüft und mit der Außendämmungsvariante anhand verschiedener Kriterien überprüft werden. Aus diesem Grund erfolgt eine detaillierte Betrachtung der entwickelten Systemlösung anhand der im Sanierungsobjekt vorliegenden Rahmenbedingungen und gliedert sich in folgende systematische Schritte:

- Erstellung eines räumlichen Anwendungskonzepts für die entwickelte Innendämm-Systemlösung
- Betrachtung von Sonderfällen im Bereich der Innenwandoberflächen
- U-Wert- und Heizwärmebedarfsberechnung sowie Berechnung des Klimaschutzpotentials als Vergleichsgrundlage

### **Systemaufbau und räumliches Anwendungskonzept**

Während der baulichen Bestandserhebung wurden sämtliche Innenoberflächen der Außenwände bezüglich ihrer Oberflächengestaltung untersucht und dokumentiert. Das Ergebnis zeigte sehr homogen verlaufende Ausgestaltungen sowie einen gleichmäßigen konstruktiven Aufbau (Innenputzschicht auf Mauerwerk).

Nur im Erdgeschoßbereich gibt es durch die im Außenwandbereich anzutreffende Holzvertäfelung bis auf eine Höhe von 1,20 m über Bodenniveau einen Sonderfall.

Grundsätzlich eignet sich jedoch aufgrund der Voraussetzung die vollflächige Anwendung des im Kapitel 5 entwickelten Innendämmungssystems mit dem folgenden Schichtaufbau:

- 1 cm Kalkputz Vorspritzer auf Bestandsmauerwerk
- 5,5 cm thermoplastgebundene Schilfrohrplatte, in die frische Putzschicht verpresst und verdübelt
- 3 cm Wärmedämmputz BIAtherm NHL 5
- 1 cm Oberputzschicht BIA Kalk-Feinputz

Die folgende schematische Darstellung zeigt in maßstabsgetreuem Verhältnis der Schichtstärken die geplanten Dämmmaßnahmen bei Anwendung als Innendämmung:

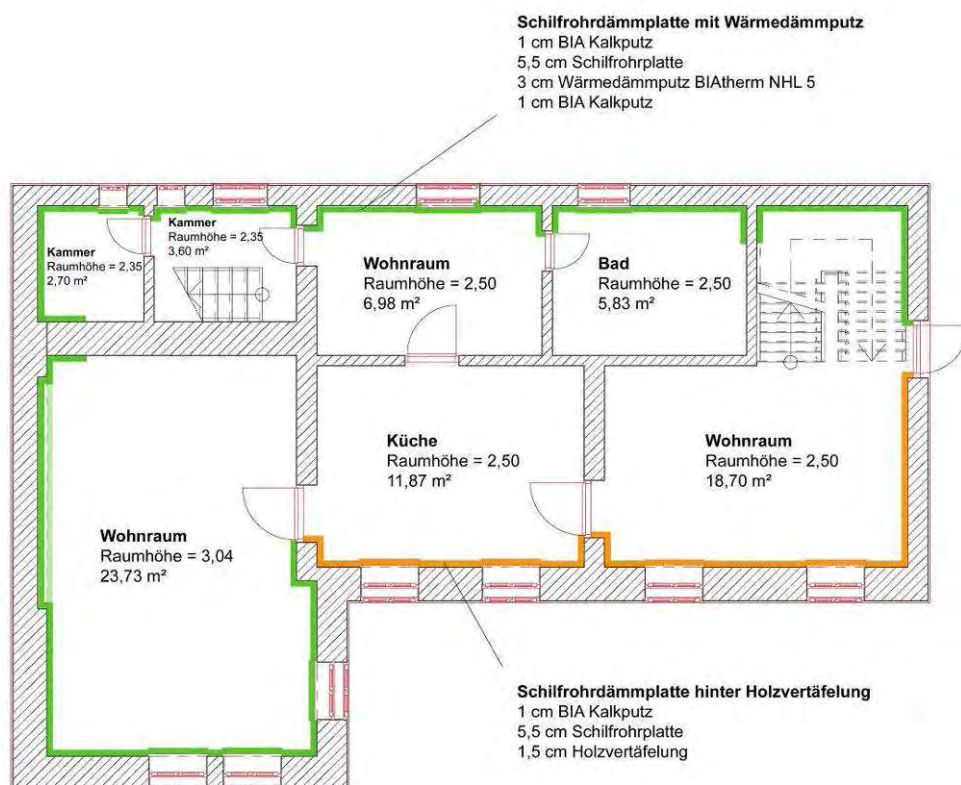


Abbildung 155: Konzept Innendämmung Anwendung im Erdgeschoß

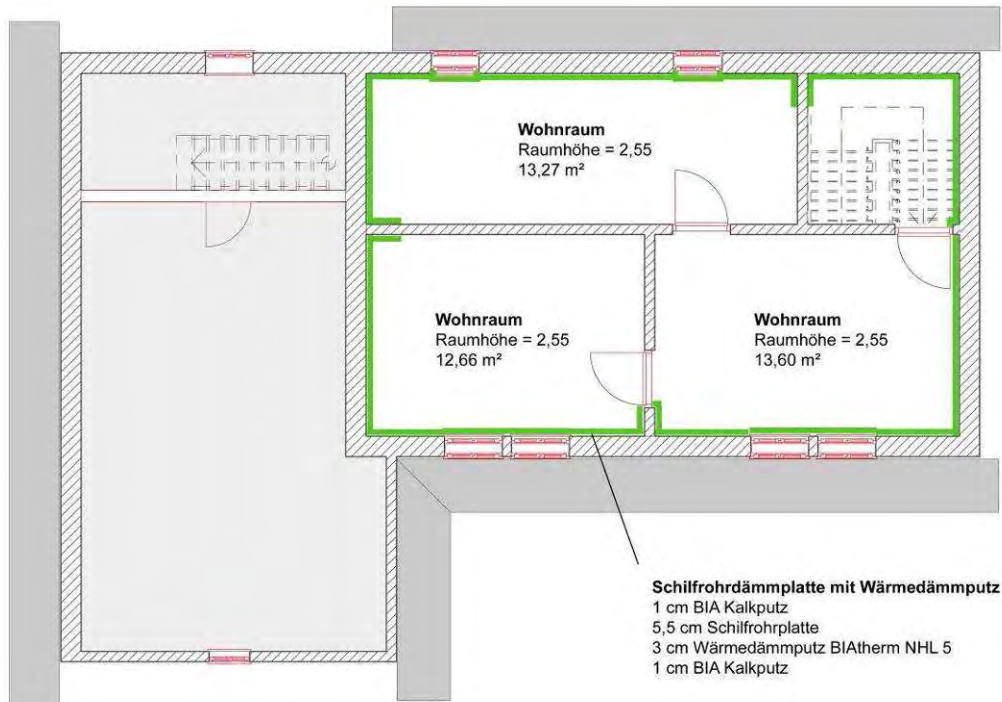


Abbildung 156: Konzept Innendämmung Anwendung im Obergeschoß

Nachfolgend werden die einzelnen Außenwandbauteile auf ihre Eignung zur Anwendung einer Innendämmung innerhalb des Sanierungskonzepts überprüft und bewertet.

<b>Bauteil AW-01 (unverdeckt) und AW-02 - Wandstärke: 50 cm</b>				
<b>Bruttofläche</b>	<b>Fensterfläche</b>	<b>Nettofläche</b>	<b>U-Wert Bestand</b>	<b>U-Wert Variante 1</b>
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
30,01	3,385	26,63	1,090	0,393

Tabelle 53: Bauteil AW-01 Variante 2

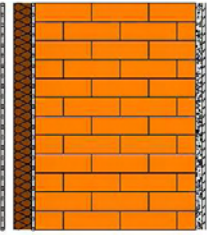
Bauteilbezeichnung: <b>AW-01 (unverdeckt) / AW-02 Variante 2</b>							
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>							
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert            0,39 [W/m²K]</b>							
M 1 : 20							
<b>Konstruktionsaufbau und Berechnung</b>							
	<b>Baustoffschichten</b>	<b>d</b>	<b>μ</b>	<b>λ</b>	<b>R = d / λ</b>	<b>ρ</b>	<b>ρ*d</b>
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.	Durchlaßw.	Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[m²K/W]	[kg/m³]	[kg/m²]
1	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0
2	Biatherm NHL 5	0,030	15	0,080	0,375	350	10,5
3	Schilfplatte, thermoplastgebunden	0,055	2	0,055	1,000	140	7,7
4	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0
5	Vollziegelmauerwerk	0,500	10	0,700	0,714	1.600	800,0
6	Biatherm NHL 5	0,020	15	0,080	0,250	350	7,0
7	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0
	Bauteildicke [m]	<b>0,635</b>					

Abbildung 157: Konstruktiver Aufbau und U-Wert von AW-01 und AW-02 Variante 2

### Kurzbeschreibung der Sanierungsmaßnahme

Dämmung der Innenseite der 50 cm starken Außenwand AW-01 und AW-02 mittels der entwickelten Systemlösung für Innendämmung. Aufgrund der hohen Wandstärken und entsprechend bereits bestehender tiefer Fensterlaibungen (im Bauteil AW-01) wird eine Dämmschichtstärke von insgesamt 10,5 cm gewählt. Die Verwendung der optional verfügbaren Wandheizungsmodule ist möglich und eignet sich vor allem bei Bauteil AW-02 da keine Fensterflächen vorhanden sind und die Module großflächig angebracht werden können.

### Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung

Die Heranführung der Dämmschicht an die Fenster in Bauteil AW-01 muss gesondert gelöst werden. Die Dämmschicht kann im Laibungsbereich ohne die Schilfdämmplatte aber mittels einer erhöhten Putzschichtdicke ausgeführt werden. Wirtschaftlich zeigt diese Variante aufgrund der unkompliziert anwendbaren Systemlösungen keine Nachteile gegenüber der Außendämmvariante auf.

### Architektonische Betrachtung

Die Fensteröffnungen dürfen durch die Heranführung der Innendämmschicht nicht unvorteilhaft verkleinert werden, daher muss eine angemessene Putzschichtdicke gewählt werden. Der Übergang von gedämmter Außenwand zu ungedämmten Innenwänden kann sauber und fugenfrei durch homogenen Innenputzauftrag ausgeführt werden.

Bauteil AW-01 - Wandstärke: 50 cm mit innenseitiger Holzvertäfelung				
Bruttofläche	Fensterfläche	Nettofläche	U-Wert Bestand	U-Wert Variante 1
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
23,83	3,5	20,33	1,090	0,442

Tabelle 54: Bauteil AW-01 Variante 2 – Sonderfall Holzvertäfelung

### Konstruktiver Aufbau und U-Wert-Berechnung

Bauteilbezeichnung: <b>AW-01 Variante 2 Sonderfall Holzvertäfelung</b>								
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>								
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert 0,44 [W/m<sup>2</sup>K]</b>								
Konstruktionsaufbau und Berechnung								
	Baustoffschichten	d	μ	λ	R = d / λ	ρ	ρ*d	
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.	Durchlaßw.	Dichte	Flächengew.	
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	
1	Holzvertäfelung	0,015	50	0,140	0,107	450	6,8	
2	Schilfplatte, thermoplastgebunden	0,055	2	0,055	1,000	140	7,7	
3	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0	
4	Vollziegelmauerwerk	0,500	10	0,700	0,714	1.600	800,0	
5	Biatherm NHL 5	0,020	15	0,080	0,250	350	7,0	
6	BIA Kalkputz NHL 5	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0	
Bauteildicke [m]		<b>0,610</b>						

Abbildung 158: Konstruktiver Aufbau und U-Wert von AW-01 Variante 2 hinter einer Holzvertäfelung

### Kurzbeschreibung der Sanierungsmaßnahme

Die im Erdgeschoß anzutreffende Holzvertäfelung vom Boden bis auf eine Höhe von etwa 1,20 m soll aufgrund des guten Zustands erhalten und in die Neugestaltung übernommen werden. Daher wird eine abgewandelte Version der Innendämmvariante ausgeführt, indem auf die abschließende Putzoberfläche verzichtet und stattdessen die Schilfrohrplatte direkt unter der Holzvertäfelung angebracht wird. Eine Anwendung der Wandheizungsmodule ist in diesem Bereich nicht sinnvoll, da es aufgrund der Temperatureinwirkung zu Spannungen im Holz und entsprechender Spaltbildung kommen könnte.

### Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung

Da die bisherige Befestigung der Holzverkleidung nur geringe Verankerungen im Mauerwerk vorsah, kann bei einer Übernahme dieser Innenauskleidungsschicht sowie der Montage der Holztafeln auf den Schilfplatten auf die bisherige Befestigungsmethode zurückgegriffen werden. Es muss jedoch darauf geachtet werden dass keine großen Luftkammern aufgrund von Spaltbildungen zwischen Dämmplatte und Holzvertäfelung während der Anbringung entstehen können. Da es aufgrund der Ausführung der Vertäfelung auch über Raumecken hinweg zu einer Veränderung der Gesamtfläche kommt, müssen einzelne Teile der Vertäfelung zugeschnitten werden. Der zusätzlich entstehende Kostenaufwand für eine



säuberliche Entfernung der Holzvertäfelung zum Zwecke der anschließenden Wiederanbringung kann im Verhältnis zum Wert der Erhaltung der bestehenden Bausubstanz als angemessen erachtet werden.

### **Architektonische Betrachtung**

Da über der Holzvertäfelung die konventionelle Innendämmung mit dem Schichtaufbau aus Schilfrohrdämmplatte, Wärmedämm- und Oberputz ausgeführt werden kann wird somit über die horizontale Abschlussleiste der Holzvertäfelung keine deutliche Abstufung im Oberflächenverlauf erfolgen. Das homogene Gesamtbild des im Bestand vorhandenen Innenwandaufbaus kann daher erhalten werden.

### **Gesonderte Betrachtung des Dampfdiffusionsverhaltens**

Die Betrachtung des bei diesem Bauteil bei der Anwendung der vorgeschlagenen Sanierungsvariante auftretenden Dampfdiffusionsverhaltens ergab einen erhöhten Wert des anzunehmenden anfallenden Oberflächenkondensats im kritischen Monat Jänner. Dieser Wert allein jedoch kann aufgrund der ausreichenden Austrocknungskapazität des Wandaufbaus vernachlässigt werden. Somit kann eine bauphysikalische Unbedenklichkeit des vorgeschlagenen Wandaufbaus angenommen werden.

<b>Bauteile AW-03 / AW-04 / AW-05 - Wandstärke: 30 cm</b>				
<b>Bruttofläche</b>	<b>Fensterfläche</b>	<b>Nettofläche</b>	<b>U-Wert Bestand</b>	<b>U-Wert Variante 1</b>
[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]
144,08	12,3	131,78	1,584	0,441

Tabelle 55: Bauteil AW-03/AW-04/AW-05 Variante 2

## Konstruktiver Aufbau und U-Wert-Berechnung

Bauteilbezeichnung: <b>AW-03 / AW-04 / AW-05 Variante 2</b>							
Bauteiltyp: <b>Außenwand</b>							
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 <b>U - Wert            0,44 [W/m²K]</b>							
<b>Konstruktionsaufbau und Berechnung</b>							
	<b>Baustoffschichten</b>	<b>d</b>	<b>μ</b>	<b>λ</b>	<b>R = d / λ</b>	<b>ρ</b>	<b>ρ*d</b>
	von innen nach außen	Dicke	WD-Diff.	Leitfähigk.	Durchlaßw.	Dichte	Flächengew.
Nr	Bezeichnung	[m]	[-]	[W/mK]	[m²K/W]	[kg/m³]	[kg/m²]
1	BIA - Kalkputz	0,010	6	0,900	0,011	1.800	18,0
2	Biatherm NHL 5	0,030	15	0,080	0,375	350	10,5
3	Schilfplatte, thermoplastgebunden	0,055	2	0,055	1,000	140	7,7
4	BIA - Kalkputz	0,010	6	0,800	0,013	1.800	18,0
5	Vollziegelmauerwerk	0,300	10	0,700	0,429	1.600	480,0
6	Biatherm NHL 5	0,020	15	0,080	0,250	350	7,0
7	BIA - NHL 5	0,010	6	0,800	0,013	1.800	18,0
	Bauteildicke [m]	<b>0,435</b>					

Abbildung 159: Konstruktiver Aufbau und U-Wert von AW-03/AW-04/AW-05 bei Innendämmung

### Kurzbeschreibung der Sanierungsmaßnahme

Die Innendämmung wird mit den vorgesehenen Schichtstärken wie bei AW-01 im Bereich ohne Holzvertäfelung durchgeführt.

### Konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung

Die Anbringung der Schilfdämmplatten ist wie bei Bauteil AW-01 im unverdeckten Bereich aufgrund guter Untergrundfestigkeiten in allen Bauteilen problemlos möglich. Die unterschiedlichen Fensterabmessungen im Erdgeschoßbereich des Bauteils AW-04 müssen mit leicht erhöhtem Arbeitsaufwand in der Dämmschichtebene eingearbeitet werden.

### Architektonische Betrachtung

Die fast gänzlich geschlossene Oberfläche dieses Bauteils ermöglicht eine vollflächige Anbringung des Wärmedämmverbundsystems ohne Unterbrechungen über beide Geschoßhöhen. Die Dachkonstruktion kann mittels konstruktiver Auskragungen nach Anbringung der Dämmkonstruktion die ursprünglich vorhandene Formgebung wieder erhalten und somit den Gesamtcharakter des Gebäudes stärken.

### Ergebnisdarstellung

Die folgende Tabelle zeigt nochmals alle optimierten U-Werte im Vergleich zu den ursprünglich vorhandenen Werten sowie die relevanten Kenndaten der Bauteile für das vorgeschlagene Sanierungskonzept der Variante Innendämmung.

Bauteil	Spezifizierung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert Bestand [W/m <sup>2</sup> *K]	U-Wert Sanierung [W/m <sup>2</sup> *K]
AW-01 AW-02	50 cm Wandstärke Südfassade Erdgeschoß	26,63	1,09	0,36
AW-01	50 cm Wandstärke Westfassade Erdgeschoß <b>holzvertäfelt</b>	20,33	1,09	0,44
AW-03 AW-04 AW-05	30 cm Wandstärke Ost- / Süd- / Westfassade Erd- und Obergeschoß	131,78	1,58	0,44

Tabelle 56: U-Werte der Bauteile nach Sanierungsvariante 2

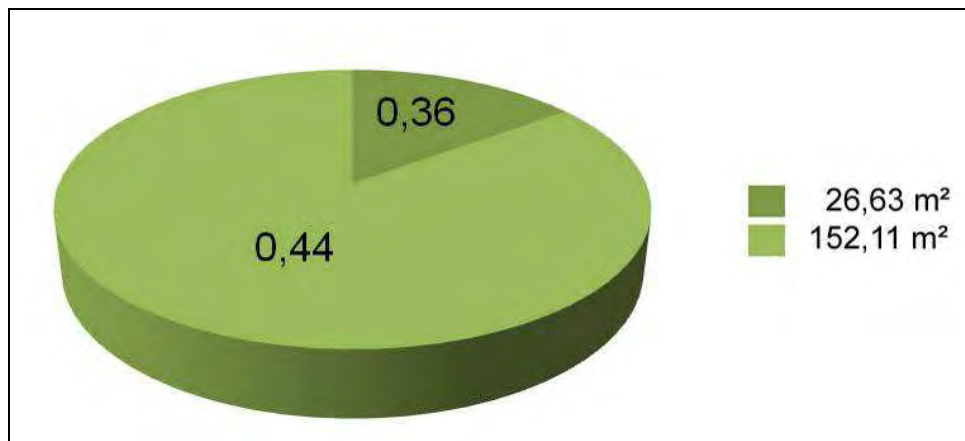


Abbildung 160: Flächenanteile der erreichten U-Werte (in W/m<sup>2</sup>K) der Außenmauern bei Außendämmung

### Auswertung der Energiekennzahl

Diese im Sanierungskonzept „Innendämmung“ vorgeschlagenen Maßnahmen können bei Betrachtung des Heizwärmebedarfs folgendermaßen gewichtet werden:

Die Variante erreicht bei ausschließlicher Betrachtung der Dämmung der Außenwände ohne weitere Maßnahmen eine Verringerung des Heizwärmebedarfs im Verhältnis zum Wert des Bestandsbaus um **33,04 %** ( $HWB_{\text{Bestand}} 452,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,  $HWB_{V2.1} 303,06 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

Sofern man die thermische Sanierung der für die Anwendung der Innendämmung nicht relevanten Bauteile mit einbezieht errechnet sich eine Verbesserung um insgesamt **80,8 %** ( $HWB_{\text{Bestand}} 452,56 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ,  $HWB_{V2.2} 86,68 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

## Ökologische Betrachtung

Unter Berücksichtigung der Primärenergieinhalte des verwendeten Dämmstoffs Schilfs sowie des CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwerts können die klimarelevanten Auswirkungen dieser Sanierungsvariante quantifiziert werden. Hierzu erfolgt eine Betrachtung der zur Erstellung der Dämmung benötigten Mengen an Schilfrohr.

Gesamtfläche der zu dämmenden Außenwand (netto):	259,66 m <sup>2</sup>
Flächenzuschlag für Dämmung von Innenwandanschlüssen:	55,00 m <sup>2</sup>
Ausgeführte Schichtstärke der Dämmung:	5,50 cm
Resultierendes benötigtes Dämmstoffvolumen:	15,73 m <sup>3</sup>

Aufgrund der Rohdichte von 150 kg / m<sup>3</sup> sowie des CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwertes von -1,60 kg (Quelle: IBO-Baustoffkatalog), was einer effektiven CO<sub>2</sub>-Speicherung anstatt des bei konventionellen Dämmstoffen üblicherweise anzutreffenden Verbrauchs von CO<sub>2</sub> entspricht, ergibt sich eine Gesamtspeicherung von 3,8 t CO<sub>2</sub>.

## Abschließende Bewertung – Sanierungskonzept 2 – Innendämmung

Sowohl die resultierenden Energiekennzahlen wie auch das berechnete bauphysikalische Profil der Wandaufbauten zeigen die Eignung der entwickelten Systemlösung zur Innendämmung für den Einsatz im Sanierungsbereich. Trotz eines sehr dünnen Dämmschichtaufbaus kann eine relevante Verbesserung des Heizwärmebedarfs erreicht und gleichzeitig aufgrund des Systemaufbaus sehr sensibel auf die bestehende Wandkonstruktion reagiert werden.

Vor allem in der Variabilität der möglichen Putzschichtstärken sowie der sich sehr flexibel auf verschiedene Abmessungen zuschneidbaren Schilfrohrplatte können individuelle Lösungen im Innenbereich in hoher Qualität geplant und ausgeführt werden.

### 6.3.4. Bewertung der Sanierungsvarianten

Der Vergleich der beiden entwickelten Sanierungsvarianten zeigt eine eindeutige Zuweisbarkeit der verschiedenen Systemlösungen für typische Anwendungsfälle.

Während die Außendämmung auch für architektonisch anspruchsvolle Fassadengestaltungen eine Option darstellt kann dies in Extremfällen eine eingeschränkte Dämmwirkung bewirken und nur bei gleichzeitigem möglicherweise sehr hohem konstruktiven Aufwand geschehen. Die Eignung für Dämmung von Außenwänden mit weniger anspruchsvollen architektonischen Formgebungen hingegen wird durch die einfache Konstruktionsweise sowie den wärmebrückenoptimierten Aufbau voll erfüllt. Gerade anhand des konkreten Sanierungsobjekts wurden durch die verschiedenartigen formalen und konstruktiven Ausprägungen der Außenwandbauteile die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten sichtbar.

Prädestinierter Anwendungsbereich der Innendämmung ist daher der Denkmalschutz, wo sensibler Umgang mit der Bausubstanz kombiniert werden kann mit bauphysikalisch optimierten Schichtaufbauten zur Vermeidung von Feuchtigkeitsproblemen wie sie häufig bei Anwendung einer Innendämmung auftreten. Am Bestandsbau führte die beispielhafte Anwendung dieser Dämmvariante zu einer deutlichen Verbesserung der Energiekennzahl, jedoch kann das volle Potential nicht ganz dargestellt werden da keine denkmalschutztechnischen Auflagen berücksichtigt werden mussten und die bestehende Innenraumgestaltung nur in unerheblichem Maße zusätzliche Anforderungen an den Dämmschichtaufbau stellte.

Die folgende Tabelle fasst nochmals alle wichtigen Kriterien für die Bewertung der beiden Sanierungsvarianten zusammen um einen abschließenden Vergleich zu ermöglichen.

<b>Kriterium</b>	<b>Variante Außendämmung</b>	<b>Variante Innendämmung</b>
Dämmwirkung	variabel ausführbar, hohe Dämmwirkung erzielbar	eingeschränkte Dämmwirkung aufgrund beschränkter Dämmstärken
Materialmix	hohe Anzahl an verschiedenen Komponenten	sehr geringer Materialmix
Rückbau / Recycling	sehr gut möglich da fast alle Verbindungen wieder gelöst werden können (Stegträger, Verdübelung)	gut möglich, jedoch müssen Übergänge in der Putzschicht von gedämmtem zu ungedämmtem Bereich beachtet werden
Architektonische Gestaltungsmöglichkeiten	gut möglich durch flexible Komponentenkombination	sehr gut möglich durch variable Putzstärken und Verwendung einzelner Komponenten
Bauphysikalisch unbedenklicher Aufbau	gänzlich dampfdiffusionsoffen, bei Bedarf kann Oberputz leicht hydrophobiert werden	Oberputz sollte leicht hydrophobiert werden, Gesamtdämmstärke muss auf Bestandswerte angepasst werden um Kondenswasserbildung zu vermeiden

Tabelle 57: Bewertung der Sanierungsvarianten Innen- und Außendämmung

Der für Wärmedämm-Verbundsysteme als wesentliches Bewertungskriterium zu sehende Wert der Energieeinsparung infolge einer effizienten Dämmwirkung soll nochmals gesondert anhand der Heizwärmebedarfswerte dargestellt und verglichen werden. Dem nachfolgenden Diagramm können die aus den Sanierungsmaßnahmen resultierenden Heizwärmebedarfswerte als Kennzahlen für die erzielbare thermische Sanierung entnommen werden.

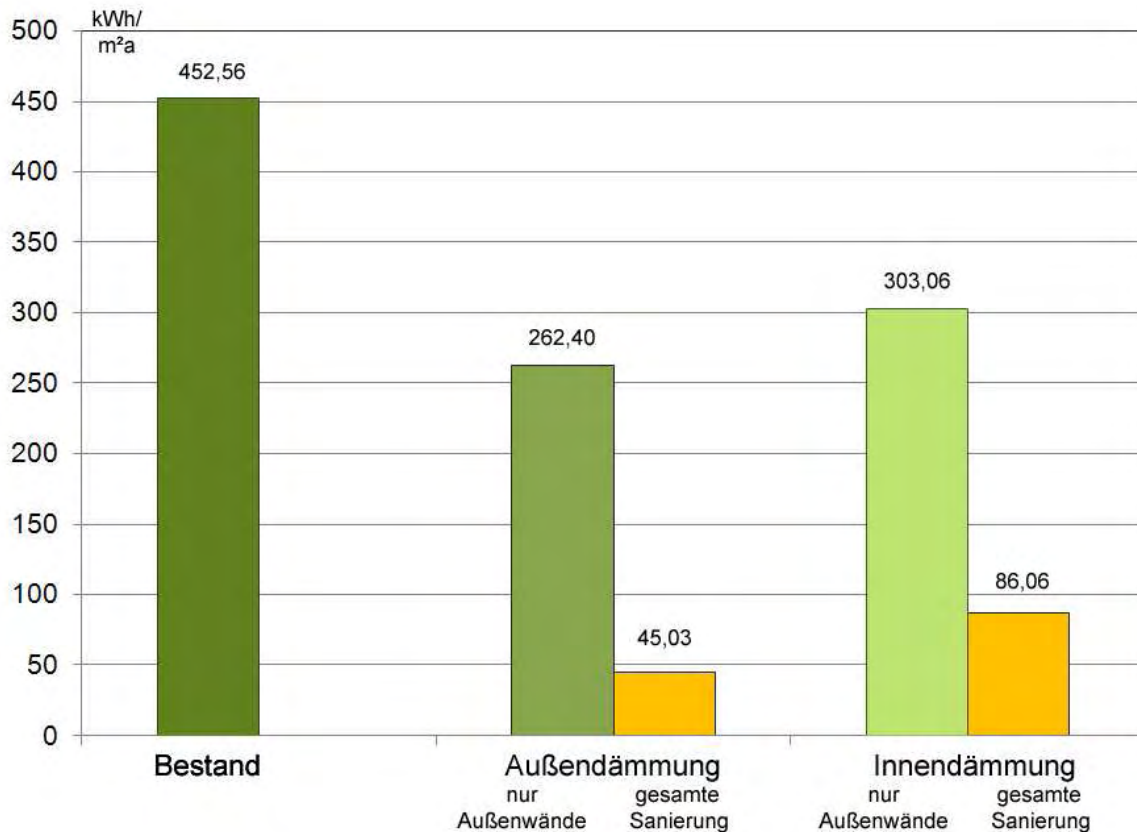


Abbildung 161: Vergleich der HWB-Werte von Bestand und Sanierungsvarianten

## Ökologische Betrachtung

Betrachtet man das Klimaschutzpotential der dargestellten thermischen Sanierungsvarianten so kann anhand der CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwerte allein ein klarer positiver Effekt bei beiden Varianten nachgewiesen werden.

Der große Vorteil von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, die Speicherung von CO<sub>2</sub> im verbauten Zustand, zeigt sich am Rohstoff Schilf ganz besonders evident, so können allein bei dem im Projekt dargestellten Sanierungsvorhaben mit einer Grundfläche von 154,28 m<sup>2</sup> abhängig von der Sanierungsvariante die folgenden Mengen CO<sub>2</sub> aus der Luft gebunden und permanent gespeichert werden.

Innendämmung	15,73 m <sup>3</sup> Dämmstoff:	<b>3,8 t CO<sub>2</sub></b>
Außendämmung	37,76 m <sup>3</sup> Dämmstoff:	<b>9,1 t CO<sub>2</sub></b>

### Zum Vergleich:

Eine Dämmung mit EPS auf denselben thermischen Sanierungsstandard brächte statt einer CO<sub>2</sub>-Einsparung eine zusätzliche Produktion von 3,1 t CO<sub>2</sub>, was einem Unterschied zu der Schilfdämmstoff-Variante für Außendämmung von insgesamt **12,2 t CO<sub>2</sub>** entspricht.

## **Abschließende Betrachtung und Auswahl des Sanierungskonzepts**

Durch die erfolgte Gesamtbetrachtung aller relevanten Kriterien wurde für das ausgewählte Sanierungsobjekt die Sanierungsvariante für die Außendämmung als am besten geeignete Variante bestimmt. Gerade für ein Demonstrationsvorhaben stellt sich das Potential dieser Variante in vielen Facetten als überzeugend dar. So kann der äußere Dämmschichtaufbau vielfach variiert und mittels einer fundierten Dokumentation dem interessierten Fachpublikum zugänglich gemacht werden.

Allerdings lässt sich auch eine kombinierte Anwendung beider Varianten aufgrund der bauphysikalischen Homogenität sowie der bei beiden Varianten grundsätzlich vorhandenen deutlichen Verbesserung der Heizwärmebedarfs nicht ausschließen und sollte innerhalb der weiteren Entwicklung des Sanierungskonzepts mit bedacht werden.

### **6.4. Optimierungspotential und Ausblick**

Die Erkenntnisse durch die getätigte Kombination von theoretischer Grundlagenforschung, praktischer Entwicklungstätigkeit, zwischengeschalteter Optimierungsmaßnahmen und der im Zuge einer Zusammenführung der Ergebnisse umgesetzten Anwendung für ein reales Gebäude in Form eines Sanierungskonzepts stellen einen relevanten Wissensgewinn für eine Vielzahl unterschiedlicher Ziel- und Nutzergruppen dar.

Gerade im Sanierungsbereich erscheinen die Anwendungsmöglichkeiten eines dampfdiffusionsoffenen Wärmedämmverbundsystems aus ökologischen Baustoffen sehr breit gestreut. Der Weg zu einem zertifizierten und damit für den Massenmarkt tauglichen Dämmsystem liegt daher in der weiteren Forschung und Entwicklung von ganzheitlichen Lösungen, die auf Basis der in diesem Projekt zustande gekommenen Ergebnisse stattfinden können.

So bieten unter anderem die konkreten baulichen Gegebenheiten des vorgestellten Sanierungsobjekts viele weitere Ansatzpunkte für zusätzliche konstruktive Detaillösungen, die beispielsweise in einem Bauteilregelwerk für ökologisch wie bauphysikalisch optimierte Sanierungslösungen erfasst werden könnten um anschließend Fachplanern und Architekten sowie weiteren Professionisten und Handwerkern zur Verfügung zu stehen.

## 7. Schlussfolgerungen und Ausblick

### 7.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines diffusionsoffenen Wärmedämm-Verbundsystems auf Basis von Schilf. Dieses Ziel konnte in mehreren Teilbereichen erreicht werden.

**Dämmstoffentwicklung:** Aus dem Rohstoff Schilf wurden Dämmstoffvarianten entwickelt, die konkurrenzfähig zu bestehenden Produkten sind. Zum einen wurden Prototypen von Schilfrohrplatten mit 10 cm Dicke hergestellt, die mit aufgeschäumtem Thermoplast gebunden sind und in Bezug auf Herstellungsaufwand, Dämmwirkung und Bearbeitbarkeit eine deutliche Verbesserung gegenüber den konventionellen 5 cm dicken, drahtgebundenen Platten darstellen. Zum anderen konnte mithilfe von Messungen festgestellt werden, dass loses Schilf (v. a. Schilfhäcksel) sich aufgrund seiner Materialkennwerte ebenfalls sehr gut als Dämmstoff eignet.

**Außendämmung:** Anhand von Musterwandaufbauten konnten diese beiden Dämmstoffvarianten in Gesamtsysteme integriert werden. Dafür wurden jeweils die geeignetsten Befestigungslösungen ausgewählt, um Wärmebrücken gering zu halten und den Arbeitsaufwand so weit wie möglich zu reduzieren.

Für die Anbringung der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatten wurde das System der Verdübelung gewählt, wobei durch die höheren Dämmstärken der Platten und eine zusätzliche Stufenfalzverbindung die Dämmwirkung erhöht und Wärmebrücken sowie Arbeitsaufwand gegenüber dem bestehenden System reduziert werden konnten. Mit dem entwickelten System ist Mindestwärmeschutz möglich, es eignet sich vor allem für die Sanierung.

Loses Schilf (Schilfhäcksel) kann fugen- und wärmebrückenfrei in eine Stegträgerkonstruktion eingebracht werden; mit diesem System sind höhere Dämmstärken bis hin zu NEH-/Passivhaus-Standard möglich, auch schwierige Bereiche wie z. B. Giebel können mit geringem Arbeitsaufwand ausgefüllt werden. Als abschließende diffusionsoffene Putzträgerplatte wird die entwickelte thermoplastgebundene Schilfrohrplatte eingesetzt.

Auch im lasttragenden Strohballenbau bieten sich Schilfrohrplatten als Putzträger an. Als Abschlussbeschichtung für alle entwickelten Systeme wurden geeignete diffusionsoffene Kalkputzvarianten anhand von detaillierten Versuchsreihen und Feuchte- sowie Temperaturmessungen ausgewählt. Technische Detaillösungen für Giebel- und Sockelbereich sowie für Kantenschutz und Armierung wurden je nach Anwendungsfall erarbeitet.

**Innendämmung:** Für den speziellen Fall der Innendämmung wurde durch die Prototypenentwicklung festgestellt, dass sich die Anwendung von wärmedämmendem Leichtputz gut für Trockenausbau-Elemente eignet, um das Gewicht zu reduzieren und gleichzeitig die Dämmwirkung zu erhöhen. Die entwickelte thermoplastgebundene Schilfrohrplatte eignet sich dafür gut als Trägerplatte. Die Integration von Dampfbremsen oder einer Wandheizung empfiehlt sich aufgrund von bauphysikalischen Berechnungen. Die



Möglichkeit, Heizrohre in ein Trockenausbau-Element mit Schilfplatte und Putz einzubringen, wurde anhand eines Prototyps in Bezug auf Funktionalität bestätigt.

**Sanierungskonzept:** Die gesammelten Entwicklungsergebnisse wurden anhand eines im Projektverlauf bestimmten Sanierungsobjekts auf ihr Anwendungspotential sowie auf Tauglichkeit im Falle bestimmter konstruktiver Problemstellungen hin überprüft und individuelle Lösungen erarbeitet. Eine detaillierte Bestandserhebung des Sanierungsobjekts wurde als Vorbereitungsarbeit zum Zwecke einer realistischen Konzeptentwicklung der Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Sanierungsvarianten für Außen- sowie Innendämmung wurden konzipiert und auf Energieeinsparungspotential, konstruktive Eignung und ökologische Relevanz hin untersucht und bewertet. Das für den spezifischen Gebäudetyp am besten geeignete Sanierungskonzept wurde auf Basis eines abschließenden Vergleichs der Varianten ermittelt.

## 7.2. Beitrag zu den Zielen und Leitprinzipien der Programmlinie

Grundlegendes Ziel des gesamten Projekts war die Verwertung des nachwachsenden Rohstoffs Schilf für die Anwendung als Dämmstoff. Für die Herstellung von Dämmplatten aus Schilf konnten **effiziente Produktionsverfahren entwickelt** werden, die außerdem zu einer Verbesserung der Plattenqualität führten. Für die Verwendung des Dämmstoffs Schilf in Wärmedämm-Verbundsystemen wurden ebenfalls Lösungen entwickelt, die eine Nutzung des Rohstoffs für verschiedene Anwendungsfälle (Neubau, Sanierung) ermöglichen. Auch für den schwierigen Bereich der Innendämmung wurden Anwendungsmöglichkeiten von Schilf untersucht und bewertet.

Mit diesen Ergebnissen wird ein **erweiterter Anwendungsbereich für den nachwachsenden Rohstoff Schilf** geschaffen; derzeitige Systeme konnten verbessert werden. In der Entwicklung wurden jeweils die **effizientesten Lösungen in Hinblick auf Energie- und Arbeitsaufwand sowie Kosten** ausgewählt. Damit sinkt auch die Hemmschwelle, den nachwachsenden Rohstoff anstelle von konventionellen, klima- und umweltschädlicheren Dämmstoffen zu verwenden.

Schilf ist im Gegensatz zu anderen, z. B. erdölbasierten Materialien problemlos **recyclierbar**. Das Problem der Entsorgung von Dämmstoffen nach ihrer Nutzungsdauer wird dadurch deutlich reduziert. Auch gesundheits- oder umweltschädliche Emissionen während der Produktion, des Einbaus und der Nutzung werden durch die Verwendung des natürlichen Rohstoffs (in Kombination mit **wohnklimatisch vorteilhaftem** Kalkputz) vermieden, was nicht unwesentlich zur **Risikovorsorge** und zur **Lebensqualität** der verarbeitenden Personen sowie der Nutzer(innen) beiträgt.

Schilf ist in Österreich in großen Mengen verfügbar; damit können **regionale Ressourcen** genutzt und Wertschöpfungsketten in den bereits bestehenden Strukturen aufgebaut und verstärkt werden, zusammen mit der Sicherung bestehender und der Schaffung neuer **Arbeitsplätze**. Die Transportwege im Zuge der Produktion von Schilf-Dämmstoffvarianten

können dementsprechend kurz gehalten werden, was wiederum zu einer verringerten Emission von Treibhausgasen beiträgt.

### 7.3. Zielgruppen des Projekts

Von der Entwicklung eines bauphysikalisch getesteten Schilfdämmsystems profitieren Privatpersonen und Unternehmen an mehreren Punkten der Produktions- und Nutzungskette. Die thermische Sanierung mit Schilf hilft nicht nur, ökologische Ziele zu erreichen, sondern stellt auch für verschiedene Betriebe einen Bereich neuer Wertschöpfung dar. Zu Beginn des Projekts wurden daher die Anforderungen schilfverarbeitender Betriebe erhoben, um die Entwicklungen auf diese Zielgruppen abzustimmen.

Beim Schilfabbau und der Produktion der Dämmplatten ebenso wie bei der Herstellung und der Montage der vorgefertigten Wärmedämm-Verbundsysteme können zahlreiche Arbeitsplätze geschaffen werden: Für die Gewinnung des Rohstoffs Schilfrohr müssen zunächst geeignete technische Geräte und Organisationsstrukturen bereitgestellt werden – dabei können **Hersteller und Anbieter von Anlagen** sowie **Schilferntebetriebe** die wachsende Nachfrage nutzen. Schilfrohr kann aber nicht nur für die Herstellung von Bau- und Dämmstoff genutzt werden, sondern auch als Heizmaterial, für die Gärtnerei (als Abdeckung für Beete, als Wind- und Sichtschutzwand usw.), als Futterpflanze, zur Produktion von Zellulose und Stärke usw.<sup>1</sup> Daraus ergeben sich vielfältige Wertschöpfungsmöglichkeiten. Da sich mit dem Neusiedlersee große Rohstoffgebiete in Österreich befinden, kann hier regionale Wertschöpfung betrieben werden, indem entsprechende Ernte- und Vertriebsstrukturen aufgebaut und langfristig genutzt werden. Auch die Kooperation mit ausländischen Betrieben in weiteren Rohstoffgebieten wie in Ungarn oder Rumänien ist möglich und bietet heimischen Unternehmen die Gelegenheit, neue Märkte und zusätzliches Know-how zu erschließen.

Als nächstes Glied in der Wertschöpfungskette können **schilfverarbeitende Betriebe** sowie **Baustoffanbieter** die hier entwickelten Technologien für die Herstellung von Schilfdämmplatten bzw. von Verbundsystemen nutzen und so die Nachfrage nach ökologischen Sanierungslösungen decken. Die Verwertungsmöglichkeiten von Schilf beschränken sich aber nicht auf die Herstellung von Dämmmaterial. Die Produktpalette kann auch auf andere Bereiche erweitert werden, z. B. Zellulose- und Stärkeproduktion, Heizmaterial, Produkte für die Freiraumgestaltung (Sichtschutzwände usw.), Futterherstellung usw.<sup>81</sup> Damit ist eine vielfältige und effiziente wirtschaftliche Nutzung des Rohstoffs möglich.

Von der Sanierung mittels Wärmedämmung profitieren wiederum sowohl **Eigentümer(innen)** als auch **Mieter(innen)** – Erstere durch die Wertsteigerung der Immobilie, Zweitere durch die Senkung der Heizkosten und ein besseres Raumklima (aufgrund der baubiologisch günstigen Variante mit Schilf und Kalkputz sowie evtl. Wandheizung). Unter den Eigentümer(inne)n, die ihre Immobilie sanieren wollen, stellt die

---

<sup>81</sup> Rodewald-Rudescu 1974, S. 256ff., 267.

Altersgruppe der 40- bis 60-Jährigen derzeit die größte Zielgruppe dar.<sup>82</sup> Auch für Eigentümer(innen) denkmalgeschützter Bauwerke ergeben sich für die Variante eines Innendämmsystems gute Anwendungsmöglichkeiten.

## 7.4. Marktpotenzial und Wirtschaftlichkeit

Angesichts steigender gesetzlicher und umweltpolitischer Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden (z. B. durch Wärmeschutzverordnungen, den Energieausweis, Niedrigenergie- bzw. Passivhaus-Standard) stellt vor allem der Bereich der **Altbausanierung** einen großen Markt für Wärmedämm-Verbundsysteme dar. Eine Prognose geht davon aus, dass der WDVS-Markt bis etwa zum Jahr 2025 kontinuierlich wachsen wird.<sup>83</sup> Für die Erreichung von Klimaschutzzielen ist die thermische Sanierung von Gebäuden nach einer Studie des Beratungsunternehmens McKinsey sogar die günstigste Methode.<sup>84</sup>

Mit dem **Energieausweis**, der seit 1. 1. 2009 nicht nur bei Neubauten, sondern auch für bestehende Gebäude auszustellen ist und auch bei der Verpachtung bzw. Vermietung von Gebäuden vorgelegt werden muss, lässt sich der Energiebedarf verschiedener Gebäude bzw. Wohneinheiten direkt vergleichen, was nicht zuletzt aufgrund steigender Heizkosten Einfluss auf die Entscheidung für die Anmietung einer Wohnung haben wird. Bessere ökologische Werte auf diesem Energieausweis steigern daher den ökonomischen Wert der Immobilie, weshalb der Einbau einer guten Wärmedämmung auch im Interesse der Eigentümer(innen) bzw. der Bauträger liegen sollte.

Diese politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen bilden die Grundlage für eine positive Marktentwicklung von Wärmedämm-Verbundsystemen.

Der größte Bedarf an Sanierungen mit WDVS besteht bei altem Bestand mit hohem Heizbedarf. Derzeit beträgt die durchschnittliche Sanierungsrate rund 1 % pro Jahr, eine Sanierungsrate von 3 % bis 2020 und eine Rate von 5 % bis 2050 sollte nach Expertenmeinung angestrebt werden.<sup>85</sup> Eine Sanierungsrate von 3 % könnte bereits zu einer **Einsparung des Energieverbrauchs um 50 %** führen.<sup>86</sup>

Auch die Entwicklung des Dämmstoffmarktes zeigt, dass die Nachfrage nach Dämmstoffen in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen ist: von 3,1 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 1993 auf rund 5,8 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2008.<sup>87</sup> Den höchsten Anteil am Dämmstoffmarkt wiesen im Jahre 2008 Mineraldämmstoffe und Schaumstoffe (z. B. EPS) mit rund 96 % auf (vgl. auch Abbildung 9 in Kap. 2.2.1). Der Anteil von Dämmstoffen auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen ist daher noch sehr gering. Zusätzliche Anreize müssen dafür sorgen, dass diese ökologisch verträglicheren Materialien sich einen größeren Platz im steigenden Wärmedämmmarkt sichern. Einen solchen Anreiz stellen z. B. **staatliche Förderungen und steuerliche Begünstigungen** für den Einsatz von ökologischen Baustoffen dar. Beispielsweise ist ein

<sup>82</sup> Für Deutschland, aber vermutlich ähnlich in Österreich: Riedel et al. 2007, S. 402.

<sup>83</sup> Riedel et al. 2007, S. 393.

<sup>84</sup> Enkvist et al. 2007.

<sup>85</sup> [http://portal.wko.at/wk/format\\_detail.wk?AnglID=1&StID=535528&DstID=0&titel=Leitf,fordert,Investitionen,in,thermische,Sanierung](http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AnglID=1&StID=535528&DstID=0&titel=Leitf,fordert,Investitionen,in,thermische,Sanierung); 16.02.2010.

<sup>86</sup> Hagenender 2008, S. 7.

<sup>87</sup> Gemeinschaft Dämmstoff Industrie 2009.

Baukostenzuschuss aus der THEWOSAN-Förderschiene in Wien an die Bedingungen geknüpft, „auf HFCKW-, H-FKW- und PVC-haltige Baumaterialien sowie auf sonstige perfluorierte organische und anorganische Verbindungen mit hohem Treibhauspotential“ zu verzichten, „sofern Alternativprodukte vorhanden sind“.<sup>88</sup> Als solche Alternativprodukte gelten auf jeden Fall Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.

Das Marktpotenzial von Schilf-WDVS wird wesentlich auch durch die Entwicklung der **Rohstoffpreise** beeinflusst. Diese sind zum einen für die Höhe der Heizkosten ausschlaggebend – je höher die Rohstoffpreise, umso mehr Kosten können durch die Wärmedämmung im Vergleich zu ungedämmten Gebäuden eingespart werden. Zum anderen spielen aber die Preise auch eine Rolle bei der Herstellung des Dämmstoffs: Während beispielsweise die Herstellung von EPS-Platten einen Rohölbedarf von ca. 6–7 Litern pro Kubikmeter aufweist und somit auch stark vom internationalen Markt und der Rohstoffverfügbarkeit abhängig ist, sind Dämmplatten aus Schilf von solchen Problemen und Unwägbarkeiten nicht betroffen, da der nachwachsende Rohstoff Schilfrohr gerade auch in Österreich und Europa reichlich vorhanden ist. 9–11,5 Prozent des österreichischen Dämmstoffmarktes könnten z. B. mit dem am Neusiedlersee vorhandenen Schilfrohr abgedeckt werden (vgl. Kap. 2.2.1).

Dass ökologisch und baubiologisch optimierte Systeme wie die hier entwickelten am Markt auf Nachfrage stoßen werden, zeigt sich vor allem auch an dem Interesse, das Schilfverarbeiter, Baustofffirmen ebenso wie das Bundesdenkmalamt für dieses Projekt bekundet haben.

Wie groß das **Einsparungspotenzial** und damit die Wirtschaftlichkeit eines WDVS im jeweiligen Anwendungsfall tatsächlich ist, berechnet sich aus mehreren Faktoren: Der Reduktion der Heiz- (bzw. Klimatisierungs-)Kosten durch die Dämmwirkung stehen auf der anderen Seite die Investitionskosten entgegen, die sich vor allem aus Material- und Montagekosten zusammensetzen. Durch das Angebot eines Systems, bei dem alle Komponenten bereits integriert sind, lassen sich besonders die Kosten für den Einbau stark reduzieren, ebenso die Nachfolgekosten für Reparaturen aufgrund von Montagefehlern. Zusätzlich müssen in die Kalkulation Renovierungskosten für das Dämmsystem miteinbezogen werden, die je nach technischer Ausführung des WDVS sowie Lage des Gebäudes unterschiedlich ausfallen können. Im vorliegenden Projekt wurde bereits in der Konzeption der einzelnen Bestandteile des WDVS (Dämmstoff, Beschichtung, Befestigung) auf lange Lebensdauer und leichte Renovierbarkeit geachtet; durch die entwickelten Detaillösungen für problematische Stellen wie Sockel- oder Dachanschlüsse können darüber hinaus Renovierungszyklen vergrößert und Kosten vermieden werden.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht bieten die mit dem Schilf-WDVS gedämmten Gebäude auch die Sicherheit geringer Entsorgungskosten nach dem Ende der Nutzungsphase. Bei der Immobilienbewertung werden immer stärker die **Rückbau-, Recycling- und Entsorgungskosten** mit einbezogen, die beim Schilf-WDVS gering sind, deshalb kann der Wert solcher Gebäude höher eingestuft werden als jener eines vergleichbaren mit herkömmlichen Dämmstoffen gedämmten Hauses.

---

<sup>88</sup> <http://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/klip/umsetzung/thewofoerder.htm>; 07.01.2010.

Gegenüber bestehenden konventionellen Wärmedämm-Verbundsystemen weisen die hier entwickelten Dämm Lösungen also Wettbewerbsvorteile auf, die sich aus den ökologischen Eigenschaften der Bestandteile, der technischen Verbesserung der Ausführungsdetails und der Integration der Elemente in einem vorgefertigten und leicht handhabbaren Gesamtsystem ergeben.

## 7.5. Mögliche Weiterentwicklungen

Für die technischen Weiterentwicklungspotenziale in den Bereichen Dämmstoffentwicklung, Außendämmung und Innendämmung sei auf die Kapitel 3.4, 4.7 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verwiesen, wo aufbauend auf den Ergebnissen konkrete weiterführende Forschungsfragen formuliert werden.

Hier sollen die Möglichkeiten beschrieben werden, die erreichten Forschungsergebnisse in einem größeren Rahmen umzusetzen und damit auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Dies kann am besten in einem Demonstrationsprojekt geschehen, welches die Anwendung der Wärmedämmung mit Schilf in der Praxis zeigt. Damit können die Potenziale, die in diesem Rohstoff stecken, all jenen bewusst gemacht werden, die sich für ökologische Sanierungs- und Dämm Lösungen interessieren, sich aber bisher noch nicht ausreichend über die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Schilf informieren konnten. Ein konkretes Objekt, an dem verschiedene Varianten der Schilfdämmung sichtbar und messbar demonstriert werden, kann hier ein Bewusstsein dafür schaffen, dass der Rohstoff Schilf kein „antiker“ Baustoff ist, sondern sich kompatibel mit modernen Energiestandards und Technologien zeigt.

Mit den Ergebnissen dieses Projekts wurden bereits die notwendigen Voraussetzungen geschaffen, um die Anwendung von Schilf als Dämmstoff in der Praxis zu demonstrieren. Als Dämmstoffvarianten stehen verbesserte Schilfrohrplatten sowie loses Schilf mitsamt Materialkennwerten zur Verfügung, für die Verwendung in Wärmedämm-Verbundsystemen wurden an einem Anwendungsfall (sanierungsbedürftiger Altbau in Böheimkirchen) bereits erste Prototypen errichtet und getestet. Anhand dieser Musteraufbauten wurde ein Sanierungskonzept für ebendiesen Anwendungsfall erstellt. Aufbauend auf diesem Konzept kann daher die Verwendung von Schilf als Dämmstoff sowohl für die Außenwände wie auch die oberste Geschoßdecke erfolgen. Somit ist ein Demonstrationsprojekt die logische Fortsetzung der bisherigen Forschungsarbeiten.

An diesem Demonstrationsobjekt kann die technische Machbarkeit der Wärmedämmung mit Schilf öffentlichkeitswirksam über einen längeren Zeitraum überprüft werden; die Ergebnisse können einem interessierten Publikum und verschiedenen Professionisten vermittelt werden, z. B. Architekt(inn)en oder Selbstbauer(inne)n. Mit dieser Wissensvermittlung wird auch die Basis für weitere Demonstrations- und Forschungsprojekte geschaffen. Durch die Nähe zum bereits international bekannten S-HOUSE mit regelmäßigen Führungen und Veranstaltungen sind gute Synergieeffekte möglich.

## 8. Literaturverzeichnis

- Arbeitsgemeinschaft Wärmedämmverbundsysteme im FV der Stein- und Keramischen Industrie (2007): Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme. Ausgabe 08/2007. Wien.
- Danielewicz, Ireneusz/ Fitz, Cornelia/ Hofbauer, Wolfgang/ Klatecki, Marc/ Krick, Benjamin/ Krueger, Nicole/ Krus, Martin/ Minke, Gernot/ Otto, Frank/ Scharmer, Dirk/ Teuber, Wolfgang (2008): Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise – Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance. Abschlussbericht. Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- Das Land Steiermark, A15 Wohnbauförderung (2010): Die ökologische Wohnbauförderung II. Richtlinien.  
[<http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/10005006/7d4f5b16/oekori.pdf>; 05.02.2010.]
- Eikemeier, Sören (2008): Entwicklung eines Wärmedämm-Verbundsystems aus dem nachwachsenden Rohstoff Schilf mit anschließender Prüfung der bauphysikalischen Anforderungen für eine Zertifizierung auf europäischer Ebene. Diplomarbeit, Hannover.
- Enkvist, Per-Anders/ Naucier, Tomas/ Rosander, Jerker (2007): A cost curve for greenhouse gas reduction. In: The McKinsey Quarterly 2007 No. 1.
- Frössel, Frank (2003): Handbuch Putz und Stuck. Herstellung, Beschichtung und Sanierung für Neu- und Altbau. München, Verlag Callwey.
- Führer, Elisabeth (2010): Schnittpunkte der Schilfwirtschaft und des Naturschutzes am Neusiedler See. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.
- Gamauf, Natascha (2000): Satellitenbilddauswertung des Schilfgürtels am Neusiedler See zur Ermittlung von Rohstoffpotentialen. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien.
- Gemeinschaft Dämmstoff Industrie (2009): GDI-Dämmstoffstatistik 1993–2008.
- Habenicht, Gerd (1997): Kleben – Grundlagen, Technologie, Anwendungen. Springer.
- Habenicht, Gerd (2001): Kleben – erfolgreich und fehlerfrei. Vieweg.
- Hageneder, Christiana (2008): ÖGUT-Themenfrühstück. Steigerung der Sanierungsrate als Schlüssel zum Erfolg im Klimaschutz. Vortrag am 22. April 2008, Wien.  
[[http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:qBOn6Ls7-oIJ:www.oegut.at/downloads/pdf/13\\_themenfruehstueck\\_sanierung.pdf+zielgruppe+sanierungen&hl=de&gl=at; 11.8.2009.](http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:qBOn6Ls7-oIJ:www.oegut.at/downloads/pdf/13_themenfruehstueck_sanierung.pdf+zielgruppe+sanierungen&hl=de&gl=at; 11.8.2009.)]
- Haselsteiner, Edeltraud/ Guschlbauer-Hronek, Katharina/ Havel, Margarete (2007): Sanierungsleitfaden – Neue Standards für alte Häuser. Aktualisierte Neuauflage. Schriftenreihe: Berichte aus Energie- und Umweltforschung 33/2007, Wien.
- Helal, Ahmed (1997): Der Baustoff Reet und seine Anwendung im El-Manzala-Gebiet / Ägypten. Vor- und Nachteile, sowie Verbesserungsmöglichkeiten. Stuttgart, ibidem-Verlag.
- Malloth, Thomas (2006): Gesetzliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen des Energieausweises. In: WBFÖ 2/2006.

- NFI (2009): Donau-Delta. Landschaft des Jahres 2007–2009. Abschlussbericht. Wien.
- Pech, A. et al. (2004): Baukonstruktion Band 1 Bauphysik. Springer Verlag.
- Pexa, Daniela (2007): Wissenschaftliches Forschungsseminar Schilf. Wien.
- Prokupek, Stefan (in Vorbereitung): Sanierung eines Wohngebäudes unter Verwendung eines bauphysikalisch und ökologisch optimierten Wärmedämmverbundsystems auf Basis neu entwickelter Schilfdämmstoffe. Diplomarbeit TU Wien, Fakultät für Architektur, Wien.
- QSR – Gesellschaft zur Qualitätssicherung Reet mbH (2008): Reet als Dacheindeckungsmaterial. Qualitätssicherung und -erhaltung eines Baustoffs aus nachwachsenden Rohstoffen. Bericht zum Forschungsvorhaben der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Kiel.
- Riedel, Werner/ Oberhaus, Heribert/ Frössel, Frank/ Haegele Wolfgang (2007): Wärmedämm-Verbundsysteme. Von der Thermohaut bis zur transparenten Wärmedämmung. Waldshut-Tiengen, Baulino Verlag.
- Rodewald-Rudescu, Ludwig (1974): Das Schilfrohr. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Schrader, Mila (1998): Reet & Stroh als historisches Baumaterial. Suderburg-Hösseringen, anderweit Verlag.
- Umweltbundesamt Deutschland (2008): Bromierte Flammschutzmittel – Schutzengel mit schlechten Eigenschaften?
- Wimmer, Robert/ Binting, Rudolf/ Drack, Manfred (2006): S-HOUSE. Innovative Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel eines Büro- und Ausstellungsgebäudes. Berichte aus Energie- und Umweltforschung Nr. 12/2006. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie, Wien.
- Wimmer, Robert/ Hohensinner, Hannes/ Drack, Manfred (2007): Grundlagenforschung für die Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebunden Vliesen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung Nr. 35/2007. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie, Wien.
- WTA (2009): WTA Merkblatt 6-4/D. Stand: 05/2009: Innendämmung nach WTA I. Planungsleitfaden. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München.
- Wohnfonds Wien (2009): Leitfaden Thermisch-energetische Wohnhaussanierung. Wien.

### **Gesetze, Normen und Richtlinien**

- Denkmalschutzgesetz – DMSG. BGBl. I Nr. 170/1999.
- EN 1609 (Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisem Eintauchen). November 1996.
- ETAG 004. Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. Edition March 2000.
- OIB-Richtlinie 5 (Schallschutz). Ausgabe April 2007.
- OIB-Richtlinie 6 (Energieeinsparung und Wärmeschutz). Ausgabe April 2007.
- ÖNORM B 6010 (Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau – Prüfmethode). Ausgabe 01.04.1993.

ÖNORM B 6400 (Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme – Anwendung). Ausgabe 01.08.2004.

ÖNORM B 6405 (Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme – Produkte und Anforderungen). Ausgabe 01.07.2007.

ÖNORM B 8115 (Schallschutz und Raumakustik im Hochbau). Ausgabe 01.10.1998.

ÖNORM EN 1934 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Messung des Wärmedurchlasswiderstandes Heizkastenverfahren mit dem Wärmestrommesser – Mauerwerk).



## 9. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Falls nicht anders angegeben, stammen die Abbildungen aus eigener Quelle (GrAT).

Abbildung 1: Vlnr: Innendämmung, zweischalige Wand, Außendämmung. Ganz rechts: Temperaturverlauf in einer Außendämmung .....	19
Abbildung 2: Phragmites communis TRIN. Gesamtbild .....	23
Abbildung 3: Halmaufbau und Blattbildung .....	24
Abbildung 4: Hohlraumsystem im Halmquerschnitt.....	24
Abbildung 5: Mikroskopaufnahmen eines Schilfhalmes. Links: Halmquerschnitt mit Blatt. Mitte: Halmquerschnitt. Rechts: Halmquerschnitt mit sichtbarem Diaphragma. ....	25
Abbildung 6: Verbreitung von Schilfrohr (Phragmites communis). Schwarze Flecken zeigen industriell verwertbare Schilfrohrflächen an .....	26
Abbildung 7: Schilfrohrernte .....	27
Abbildung 8: Lagerung des Schilfrohrs .....	27
Abbildung 9: Dämmstoffverbrauch Österreich 1993–2008.....	28
Abbildung 10: Gebäude mit Schilfdächern (Tihany, Ungarn) .....	30
Abbildung 11: Links: Schilfrohre gebündelt. Rechts: Schilfhäcksel. ....	30
Abbildung 12: Schilfrohrmatte; rechts: im Einsatz als Putzträger .....	31
Abbildung 13: Manuelles Einlegen der Schilfrohrhalme .....	31
Abbildung 14: Maschinelles Binden. Abklemmen und Umbiegen der Führungsdrähte erfolgt manuell .....	32
Abbildung 15: Links: Schilfrohrplatten mit Drahtbindung; rechts: Führungsdrähte und Abbindedrähte.....	32
Abbildung 16: Links: Schilfgranulatplatte, rechts: Schilfhäcksel im Detail .....	33
Abbildung 17: Herstellung der Schilfgranulatplatten (Mitte: Formpresse; rechts: Heiz- und Kaltpresse).....	33
Abbildung 18: Schilfgranulatplatte ohne und mit Rillensystem .....	34
Abbildung 19: Teilen einer Schilfrohrplatte .....	37
Abbildung 20: Links: Plattenstoß; rechts: improvisierte Lösung im Giebelbereich.....	38
Abbildung 21: Links: Probekörperform; Mitte: Verfüllung einer Kasein-Schilfhäcksel-Masse; rechts: Bahnen von geschäumtem Heißkleber auf Schilfrohren.....	39
Abbildung 22: Einteilung von Klebstoffen nach ihrer Aushärtungsart.....	40
Abbildung 23: Einteilung von Klebstoffen nach ihrer chemischen Basis .....	41
Abbildung 24: Prototyp 1 – Gummi Arabicum .....	43
Abbildung 25: Prototyp 2 – HAGA Fliesen- und Plattenkleber .....	44
Abbildung 26: Prototyp 3 – NHL-Kalkputz.....	45
Abbildung 27: Zerbrochener Leichtputz-Prototyp.....	46
Abbildung 28: Prototyp 4 – Wärmedämmender Leichtputz NHL .....	46
Abbildung 29: Prototyp 5 - Kasein .....	48
Abbildung 30: Prototyp 6 - Stärke.....	49
Abbildung 31: Prototyp 7 - Stabilizer.....	50

Abbildung 32: Prototyp 8 – Roggenleim .....	51
Abbildung 33: Prototyp 9 – Tannin.....	52
Abbildung 34: Prototyp 10 – PLA.....	53
Abbildung 35: Verkleben der Schilfrohre mit Holzleim-Bahnen .....	54
Abbildung 36: Prototyp 11 – Holzleim.....	54
Abbildung 37: Prototyp 12 – Heißkleber .....	55
Abbildung 38: Prototyp 13 – PU-Schaum .....	56
Abbildung 39: Links: Schilfmatten, mit Polyamidschnüren gebunden; rechts: Aufbringen der Klebahnen mittels Roboterarm .....	58
Abbildung 40: Prototyp 14 – Aufgeschäumter Thermoplast.....	58
Abbildung 41: Links: Heizkasten im Betrieb mit eingespannter Probe und Abluftelemente auf der Kaltseite. Rechts: Luftleitblech auf der Kaltseite .....	62
Abbildung 42: Links: Schilfrohrprobe mit offenen Enden. Rechts: Probe mit abgeklebten Enden.....	66
Abbildung 43: Veränderung der Schilfrohre und Schimmelbildung bei langfristig eingetauchten Probekörpern (nach Beendigung des Versuches; Links: Probe 1 - teilweises Eintauchen. Rechts: Probe 2 – vollständiges Eintauchen).....	67
Abbildung 44: Probekörper nach Rücktrocknung bei Raumtemperatur Links: Probe 1 – teilweise eingetaucht. Rechts: Probe 2 – vollständig eingetaucht).....	67
Abbildung 45: Wasseraufnahme Schilfhäcksel .....	67
Abbildung 46: Wasseraufnahme von P.4 (Wärmedämmender Leichtputz). Links: direkt nach dem Eintauchen. Rechts: Wasseraufnahme bis zum oberen Rand .....	68
Abbildung 47: Wasseraufnahme von P.5 (Kasein). Links: während des Versuches. Rechts: nach dem Versuch auf dem Trocknungsständer im Winkel von 45°.....	68
Abbildung 48: Wasseraufnahme von P.6 (Stärke). Links: zu Beginn; rechts: nach 24 Stunden .....	69
Abbildung 49: Brandverhalten der drahtgebundenen Schilfrohrplatte. Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s.....	71
Abbildung 50: Brandverhalten von losen Schilfrohren. Links: Schilfrohre lose quer nach 15 s. Rechts: Schilfrohre lose längs nach 15 s.....	71
Abbildung 51: Brandverhalten von Schilfhäcksel .Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s.....	72
Abbildung 52: Schilf-Stärke-Prototyp. Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s .....	72
Abbildung 53: Brandverhalten von Schilfrohren mit aufgeschäumtem Thermoplast als Bindemittel. Links: nach 15 s. Rechts: nach 60 s.....	73
Abbildung 54: Systemaufbau Konstruktionstyp 1 – Ist-Stand.....	79
Abbildung 55: Zweilagig verdübelte Schilfrohrplatten, 5 cm, in Mörtelbett.....	80
Abbildung 56: Zweilagig verdübelte Schilfrohrplatten, 5cm, und Thermoputz .....	80
Abbildung 57:: Aufbau Variante 3 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (= Worst Case) .....	81
Abbildung 58: Flexibilität der drahtgebundenen Schilfrohrplatte .....	82
Abbildung 59: Wärmebrücken. Links: Plattenstoß zwischen zwei Breitseiten. Rechts: Dübel in einer Schilfrohrplatte.....	83
Abbildung 60: Thermoplastgebundene Platte 10 cm .....	84

Abbildung 61: Bindungsmodelle. Links: Drahtgebundene Schilfrohrplatte; rechts: thermoplastgebundene Schilfrohrplatte .....	84
Abbildung 62: Zuschnitt der thermoplastgebundenen Schilfrohrplatte .....	85
Abbildung 63: Bohrlöcher in thermoplastgebundener Schilfrohrplatte.....	85
Abbildung 64: Kantengenauigkeit zwischen zwei thermoplastgebundenen Platten.....	86
Abbildung 65: Verdübelung thermoplastgebundener Schilfrohrplatten am Anwendungsfall, Detail Fensteranschluss .....	86
Abbildung 66: Stufenfalzplatten. ....	87
Abbildung 67: Konstruktionstyp 1 – Entwicklungsergebnis .....	88
Abbildung 68: Aufbau Konstruktionstyp 2 – Ist-Stand .....	92
Abbildung 69: Feuchtegehalt in Konstruktionstyp 2 (Ist-Stand).....	93
Abbildung 70: Umbau einer ehemaligen Scheune .....	95
Abbildung 71: Wandaufbau STEICOWall mit Stegdämmung.....	96
Abbildung 72: Befestigung der Stegträger Steico mittels Winkeleisen .....	96
Abbildung 73: Lignotrend-Stegträger U*psi Typ F.....	97
Abbildung 74: Anbringen der Stegträger vom Lignotrend U*Psi F .....	97
Abbildung 75: Einbringen von drahtgebundenen Schilfrohrplatten.....	99
Abbildung 76: Einbringung von losen Schilfrohren.....	100
Abbildung 77: Links: Gebündelte Schilfrohre; Rechts: Einbringung in Steico-Stegträgersystem .....	100
Abbildung 78: Schilfhäckselschüttung zwischen Stegträgern, Bestandsmauerwerk und Putzträgerplatte .....	101
Abbildung 79: Abschluss-/Putzträgerplatte. Links: Drahtgebundene Schilfrohrplatte; Rechts: Thermoplastgebundene Schilfrohrplatte .....	103
Abbildung 80: Aufbau Konstruktionstyp 2 – Entwicklungsergebnis .....	105
Abbildung 81: Variante 3 – Worst Case.....	106
Abbildung 82: Hygrothermische Simulation eines lasttragenden Strohballenwandaufbaus mit hinterlüfteter Vorhangfassade und beidseitigem Lehmverputz.....	109
Abbildung 83: Systemaufbau lasttragende Strohballenwand mit Schilfrohrplatten .....	111
Abbildungen 84: Links: lasttragende Strohballen-Musterwand mit gebogenem Wandverlauf. Rechts: Wandaufbau mit Strohballen, Holzsteher, Schilfrohrplatte und Treeplast-Schraube.....	112
Abbildungen 85: Arbeitsschritte zur Anbringung der Schilfdämmplatten an der vertikalen Holzlattung .....	112
Abbildung 86: Schematischer Aufbau der Temperatur- und Feuchtigkeitsmessstation .....	115
Abbildung 87: Unterkonstruktion der Musterflächen und angedübelte Schilfrohrplatten.....	115
Abbildung 88: Einbau der Sensoren zur Ermittlung von Temperatur und Feuchtigkeit.....	116
Abbildung 89: Aufbringen der ersten Putzschicht (Vorspritzer NHL 5) auf die Dämmplatten .....	116
Abbildung 90: Links: trockener Spritzbewurf. Mitte: Auftragen des Grundputzes. Rechts: Detailaufnahme Grundputz (Kalkputzvariante 2) .....	117
Abbildungen 91: Thermoputz NHL 3,5. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag .....	119

Abbildungen 92: Thermoputz NHL 5. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag .....	120
Abbildungen 93: Thermoputz „Kalkmix“. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag .....	121
Abbildungen 94: NHL 3,5 BSM. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag .....	122
Abbildungen 95: NHL 3,5 BSM mit Porenbilderzusatz. Links: Grundputzauftrag. Mitte: Grundputz erhärtet. Rechts: Feinputzauftrag.....	123
Abbildung 96: Temperaturverlauf innerhalb der Putzvarianten im Sommerfall.....	124
Abbildung 97: Temperaturverlauf bei unterschiedlicher Putzschichtdicke (3 und 5 cm) .....	125
Abbildung 98: Phasenspezifische Feuchtigkeitskurven der Putzvarianten im Vergleich.....	126
Abbildung 99: Mechanische Beschädigung eines Dünnschichtputzes durch Spechte .....	130
Abbildung 100: Links: Befestigung des Metallgitters mittels Klammerung. Rechts: Metallgitter nach Putzabschluss.....	131
Abbildung 101: Links: Diagonalbewehrung in einer Fensteröffnung; Rechts: Diagonalbewehrungspfeile .....	132
Abbildung 102: Kantenschutzprofil aus Metall vor der Putzaufbringung.....	133
Abbildung 103: Konstruktive Ausbildung der Gebäudeecke bei Konstruktionstyp 2.....	133
Abbildung 104: Links: Ziegelrabitx aufgerollt. Mitte und Rechts: Sockelprofileiste mit verputztem Ziegelrabitx-Armierungsgewebe.....	134
Abbildung 105: Sockelabschluss mittels Putzprofil aus korrosionsbeständigem Metall.....	134
Abbildung 106: Dachanschluss der Stegträgerkonstruktion an einem Satteldach.....	136
Abbildung 107: Punktfundament-Säulen aus Stahlbeton unter dem Rohbau des S-HOUSE .....	137
Abbildung 108: Links: Glasschaumplatte. Rechts: Anbringung der Glasschaumplatten.....	138
Abbildung 109: Konstruktionsdetail „Sockelzone Konstruktionstyp 1“ .....	139
Abbildung 110: Konstruktionsdetail „Sockelzone Konstruktionstyp 2“ .....	140
Abbildung 111: Simulation des feuchtespezifischen Langzeitverhaltens im Sockelbereich bei Konstruktionstyp 2 (Quelle: IBO) .....	141
Abbildung 112: Links: Schilfrohrplatten als Innendämmung Rechts: Schilfrohrplatten und Wandheizung .....	145
Abbildung 113: Links: Prototyp während des Putzauftrags. Mitte: Prototyp nach der Aushärtung. Rechts: Seitenansicht der ausgehärteten Platte vor dem Zuschnitt.....	147
Abbildung 114: Prototyp aus drahtgebundener Schilfrohrplatte und Kalkputzbeschichtung nach Befestigung mit sichtbaren Rissen an den Druckstellen.....	148
Abbildung 115: Adaptierte Schilfgranulatplatten .....	149
Abbildung 116: Links: Prototyp während des Putzauftrags – Spritzbewurf sowie Grundputz sind sichtbar. Mitte: Seitenansicht der ausgehärteten Platte vor dem Zuschnitt. Rechts: ausgehärtete Oberfläche mit leichten Rissen .....	149
Abbildung 117: Links und Mitte: Zuschnitt und Bohrung. Rechts: Befestigung des Prototyps an der Testwand mit Tellerdübeln .....	150
Abbildung 118: Schilfgranulatplatte und WEM-Element.....	151
Abbildung 119: Herstellung der Proben.....	152

Abbildung 120: Probe 1, Probe 2, Probe 3 .....	152
Abbildung 121: Putzauftrag auf thermoplastgebundene Schilfrohrplatte .....	154
Abbildung 122: Putzauftrag auf thermoplastgebundene Schilfrohrplatte inkl. Wandheizungsrohren .....	154
Abbildung 123: Anbringung thermoplastgebundene Schilfrohrplatte. Links: Befestigung. Mitte: Haarrisse sichtbar gemacht. Rechts: Bruch.....	155
Abbildung 124: spezifischer Heizenergiebedarf von Gebäuden nach Baujahr .....	161
Abbildung 125: Ansichten Sanierungsobjekt „Wohnhaus Riedl“ Böheimkirchen .....	164
Abbildung 126: Lageplan des Sanierungsobjekts im Bestand.....	166
Abbildung 127: Grundriss Erdgeschoß (Bestand).....	167
Abbildung 128: Grundriss Obergeschoß (Bestand) .....	167
Abbildung 129: Querschnitt durch den Nebentrakt (Nord-Süd-Achse).....	168
Abbildung 130: Längsschnitt (Ost-West-Achse).....	168
Abbildung 131: Grundrissdarstellung mit Bauteilspezifikationen .....	169
Abbildung 132: Querschnitt im Bereich des Haupttrakts mit Darstellung des Mauerversprungs .....	170
Abbildung 133: Holzkonstruktion im Obergeschoß des Giebelbereichs .....	171
Abbildung 134: Links: Fensterlaibung im Obergeschoß (Mauerstärke 30 cm). Rechts: Fensterlaibung im Regelgeschoß (Mauerstärke 50 cm).....	171
Abbildung 135: Sparrenplan Dachfläche Haupttrakt .....	172
Abbildung 136: Darstellung der obersten Dachkonstruktion (ohne Mansarddachelemente).....	172
Abbildung 137: Sparrenplan Dachfläche Nebentrakt (Darstellung nicht genordet).....	173
Abbildung 138: Darstellung der Dachkonstruktion des Nebentrakts.....	173
Abbildung 139: Oberste Geschoßdecke vom Dachboden aus betrachtet .....	174
Abbildung 140: Sockelzone der Außenwand mit freigelegter Bodenplatte .....	175
Abbildung 141: Vertikaler Riss in der südlichen Außenmauer aufgrund Seitenschubs der Dachkonstruktion.....	176
Abbildung 142: Großflächige Fehlstellen im Kalkputz der Außenfassade .....	177
Abbildung 143: Schimmelbildung an der Oberfläche der Innenseite der Außenmauern im Erdgeschoß (nordseitig) .....	177
Abbildung 144: Freigelegtes Wandsegment hinter Holzvertäfelung im Erdgeschoß .....	178
Abbildung 145: U-Wert-Berechnung und konstruktiver Aufbau für sanierte Fundamentplatte .....	181
Abbildung 146: U-Wert-Berechnung und konstruktiver Aufbau für sanierte OGD .....	183
Abbildung 147: Grundrisschema EG für Sanierungsvariante „Außendämmung“ .....	185
Abbildung 148: Grundrisschema OG für Sanierungsvariante „Außendämmung“ .....	185
Abbildung 149: Konstruktion und U-Wert-Berechnung für Bauteil AW-01 Variante 1 .....	186
Abbildung 150: Konstruktion und U-Wert-Berechnung für Bauteil AW-02 Variante 1 .....	187
Abbildung 151: Konstruktion und U-Wert-Berechnung für Bauteil AW-03 Variante 1 .....	188
Abbildung 152: Anschlussdetail Geschoßsprung von 50 zu 30 cm Mauerstärke .....	191
Abbildung 153: Anschlussdetail horizontaler Systemwechsel an Gebäudekante .....	192
Abbildung 154: Flächenanteile der erreichten U-Werte (in $W/m^2K$ ) der Außenmauern bei Außendämmung.....	193

Abbildung 155: Konzept Innendämmung Anwendung im Erdgeschoß.....	195
Abbildung 156: Konzept Innendämmung Anwendung im Obergeschoß .....	196
Abbildung 157: Konstruktiver Aufbau und U-Wert von AW-01 und AW-02 Variante 2 .....	197
Abbildung 158: Konstruktiver Aufbau und U-Wert von AW-01 Variante 2 hinter einer Holzvertäfelung .....	198
Abbildung 159: Konstruktiver Aufbau und U-Wert von AW-03/AW-04/AW-05 bei Innendämmung .....	200
Abbildung 160: Flächenanteile der erreichten U-Werte (in W/m <sup>2</sup> K) der Außenmauern bei Außendämmung.....	201
Abbildung 161: Vergleich der HWB-Werte von Bestand und Sanierungsvarianten .....	204
Tabelle 1: Ziele, Methoden und Ergebnisse des Projekts .....	17
Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung von Schilfrohr, Weizenstroh und Fichte .....	25
Tabelle 3: Materialkennwerte einer drahtgebundenen Schilfrohrplatte.....	32
Tabelle 4: Materialkennwerte einer Schilfgranulatplatte.....	34
Tabelle 5: Vergleich von Schilf mit anderen Dämmstoffen.....	35
Tabelle 6: Anforderungsprofil für Dämmstoffe aus Schilf .....	38
Tabelle 7: Vergleich der Plattenprototypen.....	59
Tabelle 8: Versuche zur Ermittlung von Materialkennwerten (• durchgeführt, – nicht durchgeführt).....	61
Tabelle 9: Messergebnisse des Heizkastens - Wärmeleitfähigkeit der konditionierten Proben, *Probe getrocknet bei 70°C, ** mit Kalibrierfaktor XPS 1,25.....	63
Tabelle 10: Messergebnisse des Heizkastens - Wärmeleitfähigkeit der feuchten Proben, *Raumtemperatur, ** mit Kalibrierfaktor XPS 1,25.....	63
Tabelle 11: Wärmeleitfähigkeit laut Ecolabor.....	64
Tabelle 12: Wasseranteil in Schilfrohren und -häcksel.....	65
Tabelle 13: Gewichtszunahme durch Wasseraufnahme .....	66
Tabelle 14: Brandverhalten von Schilfhäcksel und losem Schilfrohr .....	70
Tabelle 15: Vergleich der Schilfdämmvarianten nach Materialkennwerten .....	74
Tabelle 16: Durchgeführte bauphysikalische Berechnungen für Konstruktionstyp 1 (Ist-Stand) .....	80
Tabelle 17: Bewertungsprofil und Lösungsansätze Konstruktionstyp 1.....	82
Tabelle 18: Konstruktionstyp 1 – Vergleich Ist-Stand und Entwicklungsergebnis.....	89
Tabelle 19: Anwendungsprofil Konstruktionstyp 1 .....	90
Tabelle 20: Bewertungsprofil und Lösungsansätze Konstruktionstyp 2.....	94
Tabelle 21: Vergleich der Befestigungssysteme .....	98
Tabelle 22: Vergleich der Schilffüllungen.....	102
Tabelle 23: Durchgeführte bauphysikalische Berechnungen für Konstruktionstyp 2 (Entwicklungsergebnis) .....	106
Tabelle 24: Anwendungsprofil Konstruktionstyp 2 .....	107
Tabelle 25: Konstruktionstyp 2 – Vergleich Ist-Stand und Entwicklungsergebnis.....	108
Tabelle 26: Vergleich hinterlüfteter Vorhangfassadenlösungen für den Strohballenbau.....	110

Tabelle 27: Kriterien für die Kalkputzvariantenbewertung .....	114
Tabelle 28: Getestete Kalkputzvarianten .....	118
Tabelle 29: Vergleich der Untersuchungsergebnisse aller Kalkputzvarianten .....	128
Tabelle 30: Auswahl eines Putzsystems für Konstruktionstyp 1 und für die Innenanwendung .....	129
Tabelle 31: Auswahl eines Putzsystems für Konstruktionstyp 2.....	129
Tabelle 32: Bewertung der derzeitigen Innendämmsysteme mit Schilfplatten.....	145
Tabelle 33: Prototypen für die Innendämmung (x zeigt hergestellte Kombinationen an) .....	146
Tabelle 34: Zusammensetzung des Prototyps drahtgebundene Schilfrohrplatte / Kalkputz	146
Tabelle 35: Aufbau des Prototyps Schilfgranulatplatte / Kalkputz .....	148
Tabelle 36: Aufbau des Prototyps Schilfgranulatplatte und WEM-Element .....	151
Tabelle 37: Zusammensetzung des Prototyps Thermoputz und Schilfhäcksel.....	152
Tabelle 38: Zusammensetzung der Proben .....	153
Tabelle 39: Aufbau des Prototyps thermoplastgebundene Schilfrohrplatte mit Leichtputz ..	153
Tabelle 40: Vergleich der Prototypen für die Innendämmung .....	156
Tabelle 41: Wandaufbau Innendämmung thermoplastgebundene Platte und Leichtputz ....	157
Tabelle 42: Durchgeführte bauphysikalische Berechnungen .....	157
Tabelle 43: Bewertung zur Auswahl des Sanierungsobjekts.....	164
Tabelle 44: Bauteilspezifische Flächenangabe sowie U-Werte des Bestands .....	179
Tabelle 45: Bauteil Bodenplatten.....	181
Tabelle 46: Bauteil Oberste Geschoßdecke .....	182
Tabelle 47: Bauteil Fenster (Kastenfenster und Einfachverglasung).....	184
Tabelle 48: Bauteil AW-01 Variante 1 .....	186
Tabelle 49: Bauteil AW-02 Variante 1 .....	187
Tabelle 50: Bauteil AW-03 Variante 1 .....	188
Tabelle 51: Bauteil AW-04 und AW-05 Variante 1 .....	189
Tabelle 52: U-Werte der Außenwandbauteile von Bestand, Anforderung und bei Anwendung von Sanierungsvariante 1.....	192
Tabelle 53: Bauteil AW-01 Variante 2.....	196
Tabelle 54: Bauteil AW-01 Variante 2 – Sonderfall Holzvertäfelung.....	198
Tabelle 55: Bauteil AW-03/AW-04/AW-05 Variante 2 .....	199
Tabelle 56: U-Werte der Bauteile nach Sanierungsvariante 2.....	201
Tabelle 57: Bewertung der Sanierungsvarianten Innen- und Außendämmung .....	203

## **Anhang**

- IBO-Bericht





# Schilf – Wärmedämmsysteme

IBO – Österreichisches Institut  
für Baubiologie und –ökologie GmbH

Alserbachstr. 5/8, 1090 Wien

## Im Auftrag von:

GrAT- Gruppe Angepasste Technologie

Technische  
Wiedner  
A-1040 Wien

Universität  
Hauptstr.

Wien  
8-10

Autoren

Felix Heisinger  
Thomas Zelger

**Endbericht**

29.März 2010

<b>Aufgabenstellung/ Ziel:</b>	<b>226</b>
<b>Allgemeines:</b>	<b>226</b>
<b>1. Schilf- bzw. Hanfdämmung zwischen Lattung, Schilfplatte als Putzträger</b>	<b>230</b>
Variante 1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand	231
Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Betonwand	232
Variante 2: Ausgangsvariante mit Hanfdämmung und Ziegelwand	233
Variante 3: Aufbau Var1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs ("Worst-Case")	234
Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:	235
Bewertung des Wandaufbaus:	238
<b>2. Reine Schilfrohrdämmung</b>	<b>240</b>
Variante 1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand	241
Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Betonwand	241
Variante 2: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand Anschlussdetail Sockellattung	242
Variante 3: Aufbau Var1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (=Worst-Case)	243
Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:	244
Bewertung des Wandaufbaus:	246
<b>3. Innenraumdämmung</b>	<b>248</b>
Variante 1: Ausgangsvariante mit 2cm Innenwärmedämmputz	249
Variante 1.1: Ausgangsvariante mit 2cm Innenwärmedämmputz und erhöhten internen Lasten	250
Variante 2: Ausgangsvariante mit 1cm Innenwärmedämmputz	251
Variante 2.1: Ausgangsvariante mit 1cm Innenwärmedämmputz und erhöhten Lasten	252
Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:	253
Bewertung des Wandaufbaus:	256
<b>4. Holzständerkonstruktion</b>	<b>257</b>
Variante 1: Ausgangsvariante mit Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz)	259
Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz) Anschluss OSB Platte	260
Variante 2: Ausgangsvariante mit Betonwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz)	261

Variante 3: Aufbau Var2 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (=Worst-Case)	262
Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:	263
Bewertung des Wandaufbaus:	266

## Aufgabenstellung/ Ziel:

Ziel ist es, die Wärmedämmsysteme der GrAT hinsichtlich Feuchtehaushalt zu bewerten. Es sollen einerseits die auftretenden Feuchten als auch die Schimmelkeimbildungen untersucht werden.

## Allgemeines:

### Wetterdaten:

Es wurden die Wetterdaten von Holzkirchen (nähe München) verwendet, da es sich bei diesen Werten um extreme Werte im Bereich der Feuchte handelt. (unter anderem auch Grundlage für Simulationen des PHI)

In der ersten Berechnung wurde eine Orientierung nach Süden berücksichtigt. Zur Absicherungen werden in weiterer Folge die kritischsten Aufbauten mit einer Orientierung nach Norden simuliert.

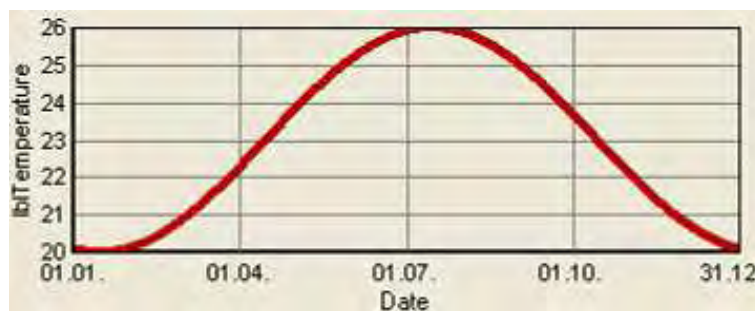
In der Simulation wurde kein direkter Regeneintrag (Schlagregen) berücksichtigt.

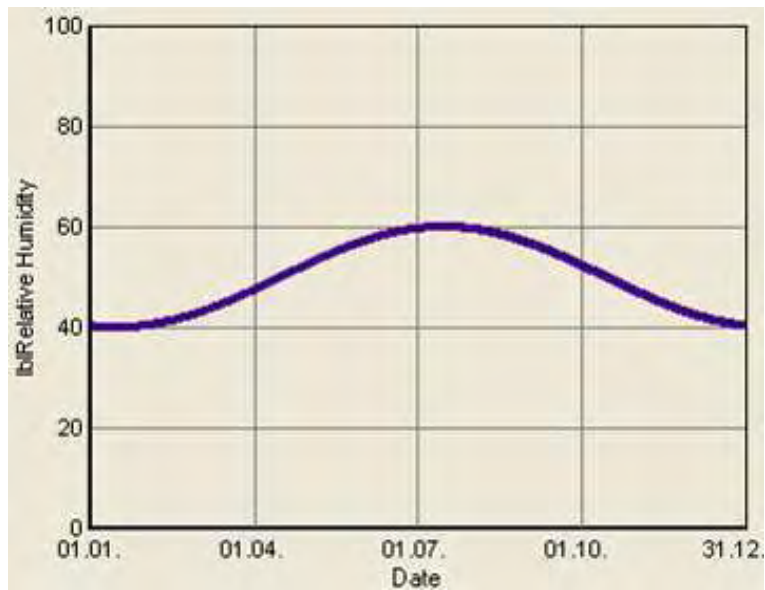
### Innenraum Bedingungen:

„normale“ Bedingungen:

Temperatur: 23°C +-3°C (bezogen auf Jahresverlauf max. 15.Juli)

RH: 50% +-10% (bezogen auf Jahresverlauf max. 15.Juli)

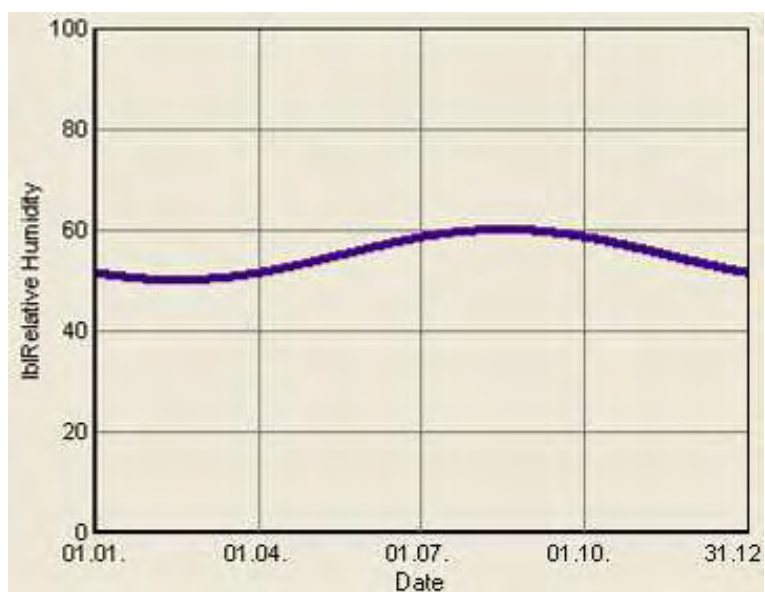
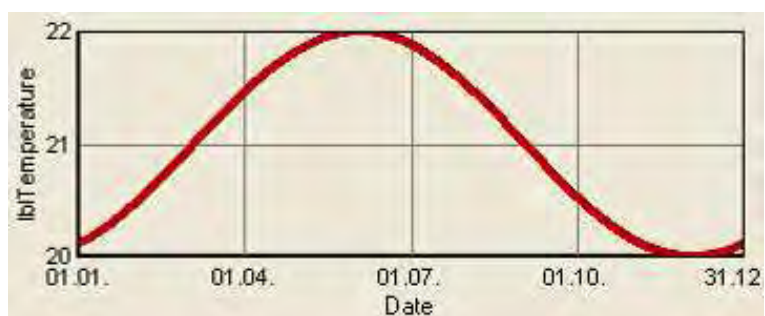




„erhöhte“ interne Lasten:

Temperatur: 21°C +1°C (bezogen auf Jahresverlauf max. 3.Juni)

RH: 55% +5% (bezogen auf Jahresverlauf max. 16.August)



## Simulationsprogramm, Randbedingungen

Die Simulation des hygrothermischen Verhaltens der Schilfwände erfolgt mit dem Programmpaket WUFI, das eine detaillierte dynamische Berechnung aller relevanten Zustandsgrößen ermöglicht. Es werden Feuchtetransportvorgänge sowohl im hygrokopischen Bereich (insbesondere Diffusionsvorgänge) als auch im überhygrokopischen Bereich (Kapillarleitung) berücksichtigt. Zudem geht das Feuchtespeichervermögen über die Sorptionsisotherme der Baustoffe in die Berechnung ein. Die Abhängigkeit der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  und der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  vom Feuchtegehalt der Baustoffe ist ebenfalls einbezogen.

## Simulationszeitraum:

Um einen stabilisierten Bereich der Feuchte zu erreichen wird die Simulation für 2 Jahre berechnet.

## Materialien:

Die Aufbauten wurden im Simulationsprogramm mit folgenden Werten gerechnet.

Bezeichnung	Einsatz	Dichte	Porosität	Wärmeübertragung	Müh	Einbaufeuchte	Quelle
		kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	W/mK	[-]	kg/m <sup>3</sup>	
Fichte_radial	Schalung	455	0.73	0.09	130	80	Wufi Werte
Schilf_Holzfaser	Schilfrohrplatte	190	0.89	0.05	2	26	geänderte Wufi-Holzfaser Werte [GrAT]
Luftschicht	Zwischenraum Sparschalung	1.3	1	0.155	0.51	-	Wufi
Kalkwärmedämmputz	Kalkwärmedämmputz	350	0.24	0.1	15	100	tlw. Herstellerangaben [GrAT]
Kalkfeinputz	Kalkfeinputz	1600	0.24	0.6	9	210	tlw. Herstellerangaben [GrAT]
Vollziegel alt	Mauer Bestand Ziegel	1800	0.31	0.6	15	100	Wufi
Concrete C35/45	Mauer Bestand Beton	2220	0.18	1.6	248	147	Wufi
Schilf_schüttung	Schilfschüttung	150	0.89	0.05	2	26	geänderte Wufi-Holzfaser Werte [GrAT]
Hanf	Hanfdämmplatten	30	0.89	0.04	2	5	eigene Eingabe [Ökologie der Dämmstoffe]
Vorspritzer	Vorspritzer	1600	0.24	0.6	9	210	tlw. Herstellerangaben [GrAT]

In den Ausgangsvarianten wurden die Werte für Suction&Redistribution der Schilfmaterialien nicht berücksichtigt.

In den unterschiedlichen Varianten werden diese Parameter berücksichtigt.

## Allgemeine Erläuterungen:

In der ersten Abschätzung sollte ein Wert von 20% Wassergehalt in den Schichten der Wandaufbauten nicht überschritten werden.

In den Diagrammen werden sowohl vollständige Schichten (z.B. Dämmschicht), wie auch Grenzsichten (z.B. Grenzsicht zwischen Dämmung und Schalung) untersucht.

## Anmerkung zur Bezeichnung (Beispiel):

WG\_Dämmung = Wassergehalt der Dämmschicht

WG\_Dämmung-Schalung = Wassergehalt der Grenzsicht zwischen Dämmung und Schalung

Berechnung von „Suction and Redistribution“ (Wasseraufnahme durch Saugen und die zugehörige Wasserabgabe):

Ausgehend von den Messwerten von der GrAT wurden folgende Berechnungen angestellt:

	aufgenommene	Wasser	pro	
W	Flächeneinheit			[kg/m <sup>2</sup> ]
w	Wasseraufnahmekoeffizient			[kgm <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
t	Saugzeit			[h]

$$W = w \cdot \sqrt{t}$$

Schilfplatten (tw. Eintauchen)

t1	24 h
t2	92.66 h
t1	86'400 s
t2	333'576 s

Wassermenge1	0.133 kg			
Wassermenge2	0.263 kg			
Fläche1	0.06 m <sup>2</sup>			
Fläche2	0.06 m <sup>2</sup>			
W1	2.36 [kg/m <sup>2</sup> ]	w1	0.482 kg m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup>	
W2	4.67 [kg/m <sup>2</sup> ]	w2	0.485 kg m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup>	
		w1	0.00804 kg m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup>	
		w2	0.00809 kg m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup>	

Schilfplatten (tw. Eintauchen) Ende abgeklebt

t1	24 h
t2	24 h
t1	86'400 s
t2	86'400 s

Wassermenge1	0.09 kg			
Wassermenge2	0.084 kg			
Fläche1	0.06 m <sup>2</sup>			
Fläche2	0.06 m <sup>2</sup>			
W1	1.60 [kg/m <sup>2</sup> ]	w1	0.326 kg m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup>	
W2	1.49 [kg/m <sup>2</sup> ]	w2	0.305 kg m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup>	
		w1	0.00544 kg m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup>	
		w2	0.00508 kg m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup>	

Schüttung

t1	24 h
t1	86'400 s

Wassermenge1	0.216 kg
Fläche1	0.05630625 m <sup>2</sup>
Fläche2	0 m <sup>2</sup>





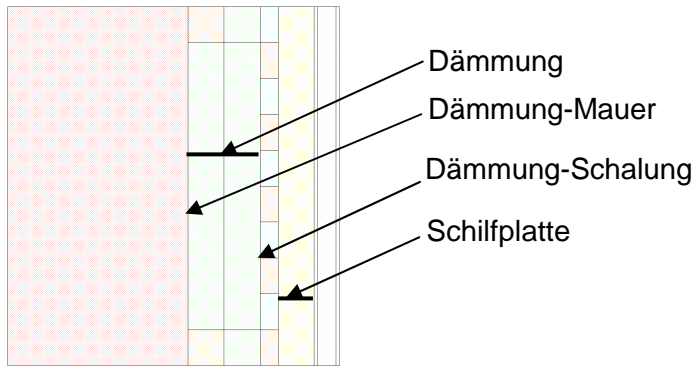
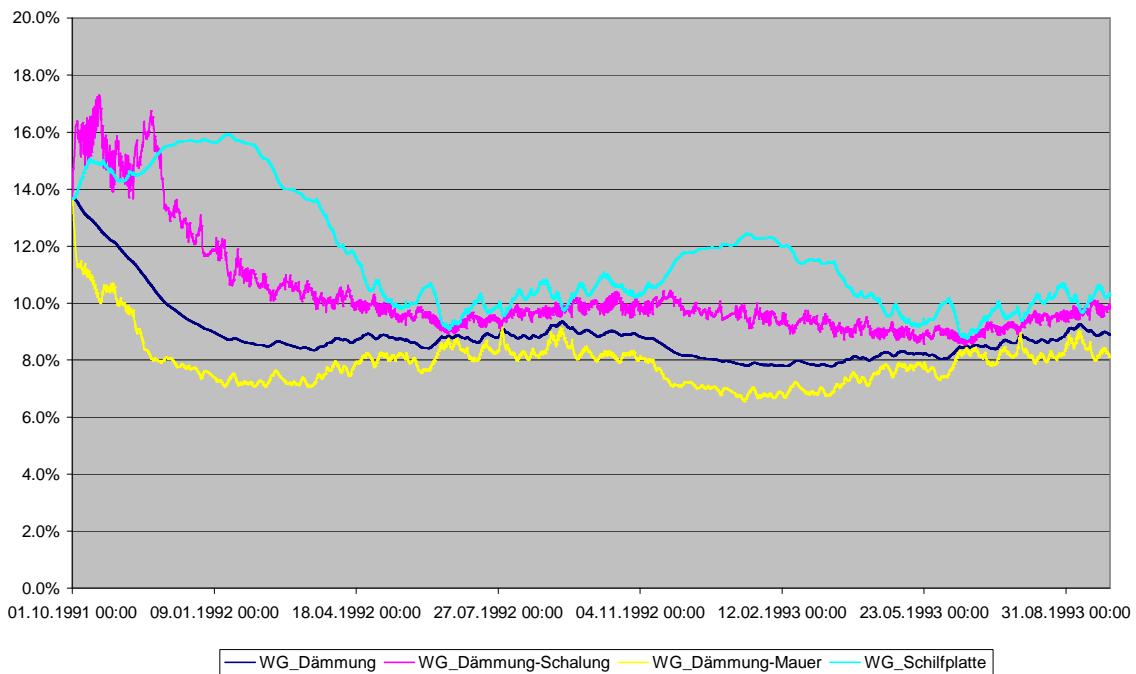


Abb.: Wandaufbau Wufi

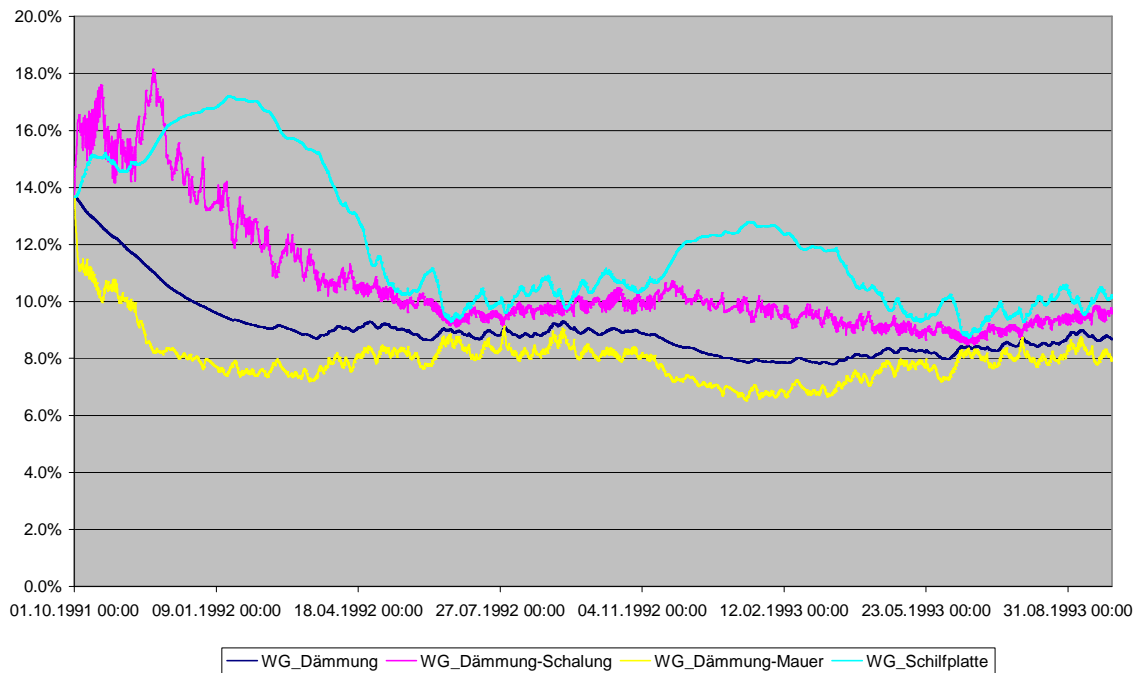
### 9.1. Variante 1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand



**Bewertung:**

Ein Feuchtegehalt von 20% wird nicht überschritten. Nach dem ersten Jahr stellt sich in der gesamten Dämmung ein Wassergehalt von 8-10% ein.

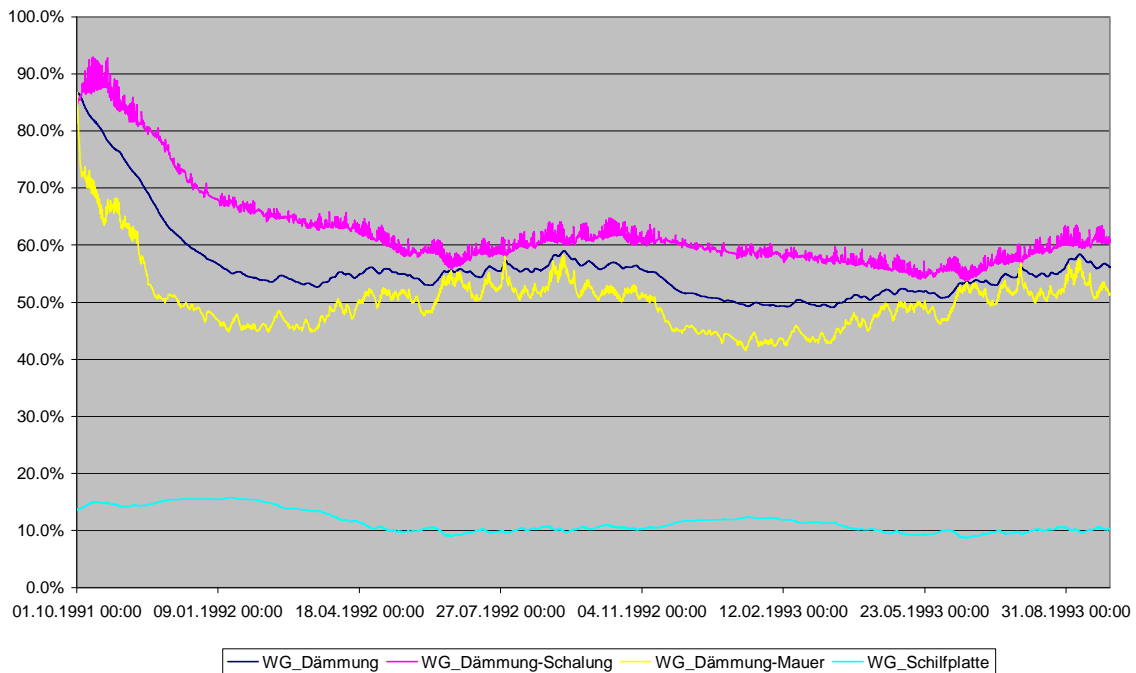
## 9.2. Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Betonwand



### Bewertung:

Ein Feuchtegehalt von 20% wird nicht überschritten. Nach dem ersten Jahr stellt sich in der gesamten Dämmung ein Wassergehalt von 8-10% ein. Zu Beginn der Simulation sind Unterschiede im Vergleich zu Var1 zu erkennen, welche auf die unterschiedlichen Einbaufeuchten zurückzuführen sind.

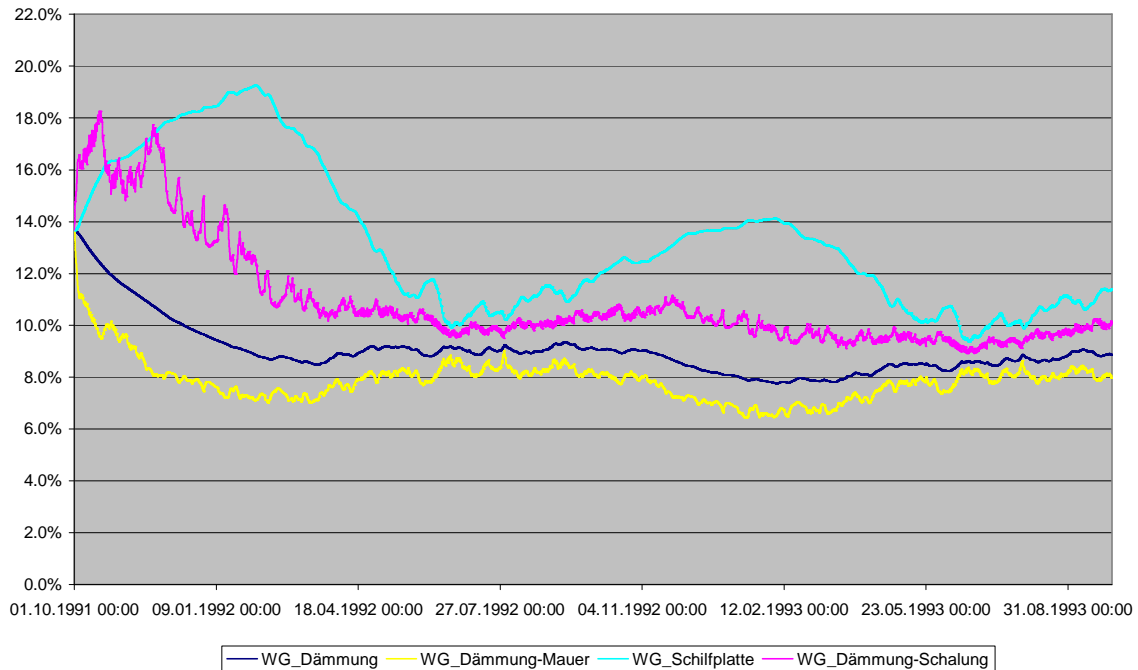
### 9.3. Variante 2: Ausgangsvariante mit Hanfdämmung und Ziegelwand



#### Bewertung:

Durch die deutlich geringere Dichte der Hanfdämmung wird ein Feuchtegehalt im eingeschwungenen Zustand von ca. 50% erreicht. Dieser Aufbau wird gesondert auf Schimmelpilzkeimung untersucht.

9.4. **Variante 3: Aufbau Var1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs („Worst-Case“)**



**Bewertung:**

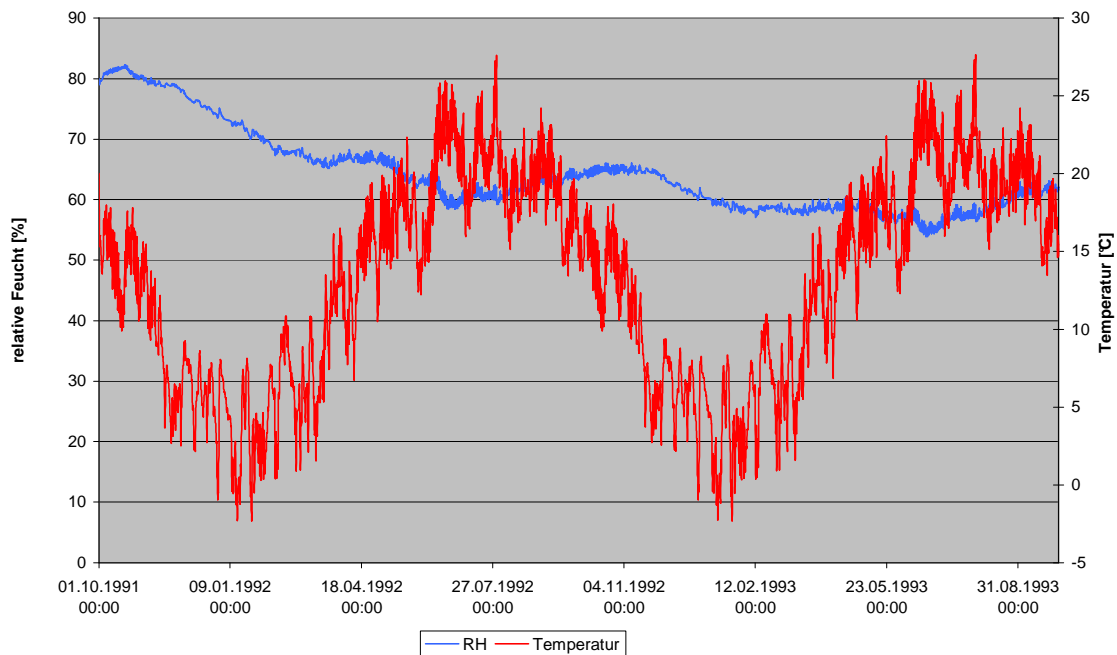
Trotz der „Worst-Case“-Annahmen wird der Feuchtegehalt von 20% nicht überschritten. Nach dem ersten Jahr stellt sich in der gesamten Dämmung ein Wassergehalt von 8-10%.

## Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:

Aus den vorhergegangenen Diagrammen lassen sich nun folgende Schlussfolgerungen treffen:

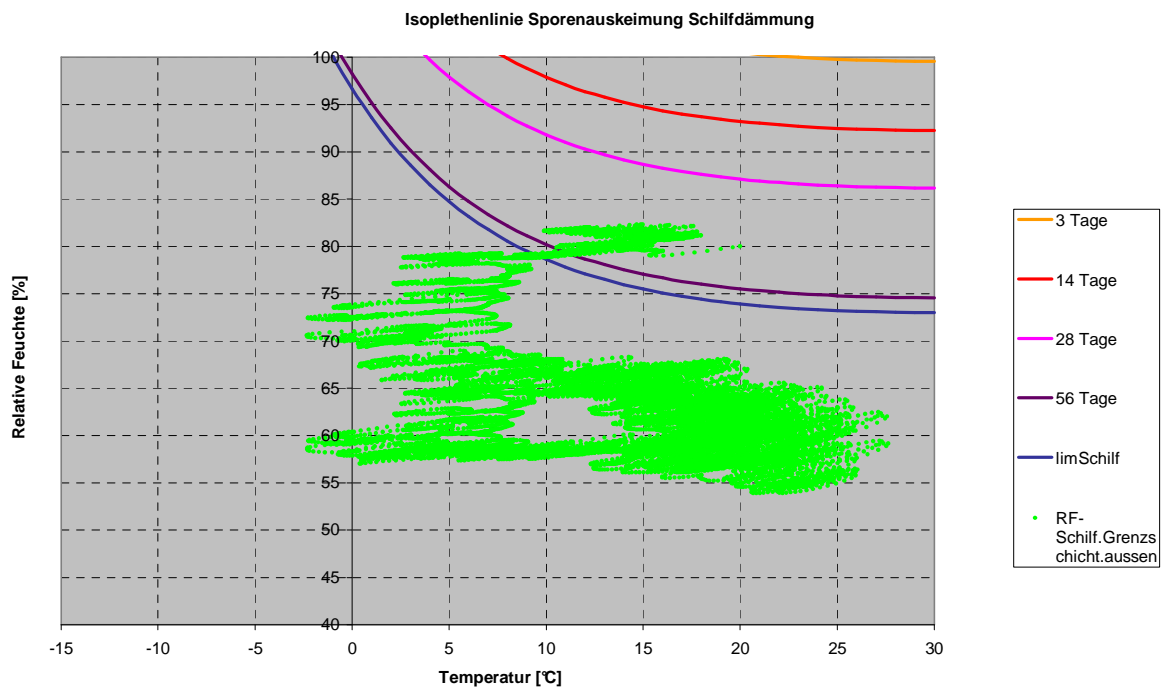
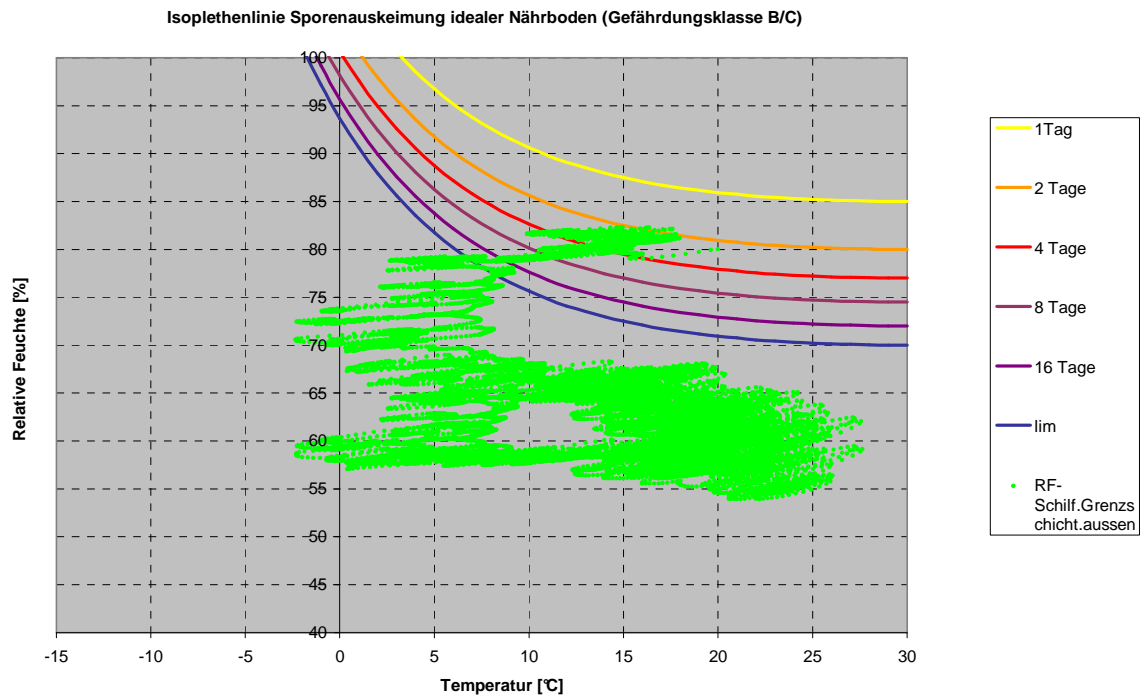
- Die höchste Feuchte tritt in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Schalung bzw. in der Schilfplatte auf.
- Die Schimmelpilzauskeimung wird in Variante 3 untersucht

Die folgende Abbildung zeigt den hygrothermischen Verlauf der Grenzschicht.



Untersuchung Grenzschicht [Temperatur, relative Feuchte] in Var1.1

Die folgenden Abbildungen zeigen das Isoplethenmodell für Schilf und einen idealen Nährboden (Berechnet für beide Simulationsjahre)



**Ergebnisse:**

- Die für die Schimmelpilzbildung relevanten hygrothermischen Bedingungen werden in der Grenzschicht während mehreren Perioden überschritten.
- Bei Verwendung des Schilf-Isoplethensystems wird die 28 Tage Linie nicht überschritten, im Falle des idealen Nährbodens wird die 2 Tages Linie knapp überschritten.

Für die Auskeimung der Sporen ist allerdings ein Mindestzeitraum notwendig, in dem die im Isoplethensystem definierten hygrothermischen Randbedingungen überschritten werden müssen.

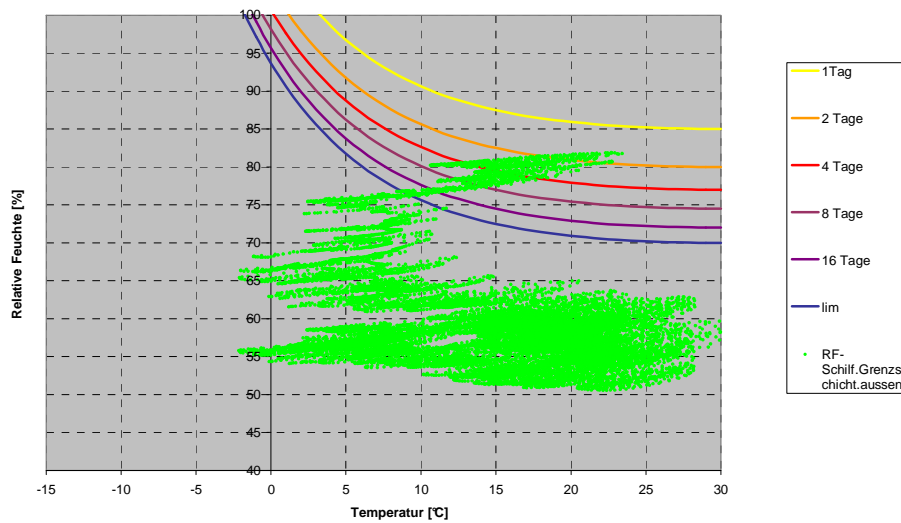
In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse dargestellt:

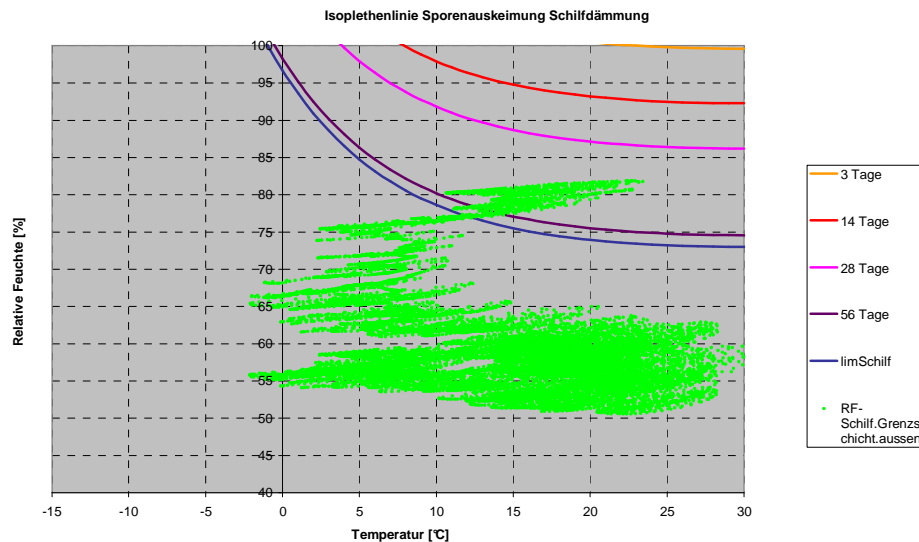
Grenzschicht Dämmung zur Schalung		Isoplethenmodell idealer Nährboden
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
1Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
2 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
4 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
8 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
16 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
<b>lim</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich

Grenzschicht Dämmung zur Schalung		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
<b>limSchilf</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich

## Analyse Variante 2: Hanfdämmung

Isoplethenlinie Sporenauskeimung idealer Nährboden (Gefährdungsklasse B/C)





Grenzschicht Dämmung zur Schalung		Isoplethenmodell idealer Nährboden
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
1Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
2 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
4 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
8 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
16 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
<b>lim</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich

Grenzschicht Dämmung zur Schalung		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
<b>limStroh</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich

## 9.5. Bewertung des Wandaufbaus:

Die Änderung der Bestandwand hat geringe Auswirkungen auf den Feuchtegehalt der einzelnen Schichten. Mit einer Betonwand als Bestand werden in der Simulation höhere Feuchten erreicht.

Die Variante mit Hanfdämmung weißt in der ersten Abschätzung sehr hohe Feuchtegehalte auf. Die Analyse mittels Isoplethenmodell zeigt, dass trotz der hohen Feuchten kein Schimmel auftritt.



Die Änderung der Orientierung sowie die Berücksichtigung des Saugeffekts des Baustoffs hat eine geringe Erhöhung der Feuchte in den Bauteilen zur Folge und wird, als schlechteste mögliche Variante, auf Schimmelpilzauskeimung untersucht. Die höchsten Feuchten werden in der Grenzschicht Dämmung und Schalung erreicht.

Eine detaillierte Untersuchung der Grenzschicht hat gezeigt, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von ca. 60% einstellt. Die Analyse mittels Isoplethensystem zeigt, dass die Hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen Perioden überschritten werden. Eine Analyse der Überschreitungzeiten zeigt, dass keine Schimmelbildung in der untersuchten Schicht auftritt.

Anmerkung:

Eine luftdichte Ausführung des Wandaufbaus ist unbedingt zu gewährleisten, da sonst eine Verschlechterung des Wärmedämmverhaltens und die Möglichkeit von Kondensatbildung bestehen.

Resümee:

Da in den untersuchten Schichten kein Schimmel auftritt ist der Wandaufbau, unter Voraussetzung einer luftdichten Ausführung, geeignet.

## 2. Reine Schilfrohrdämmung

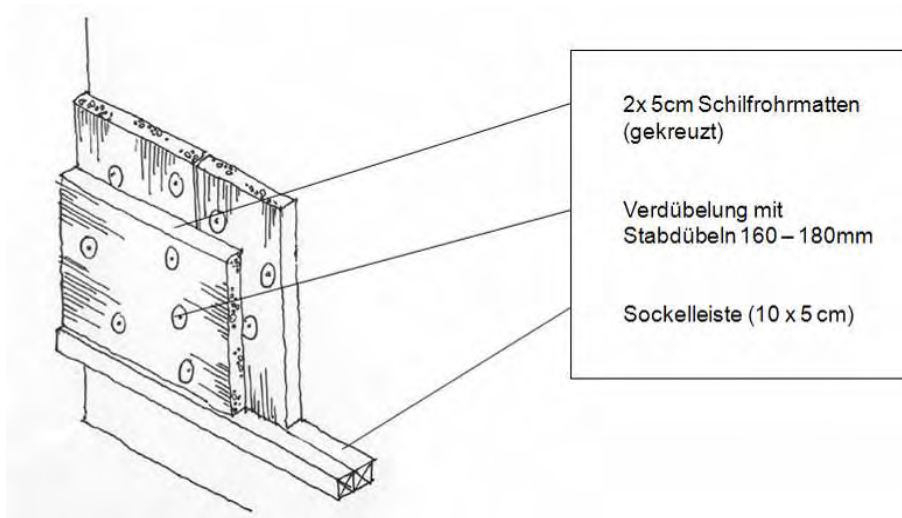
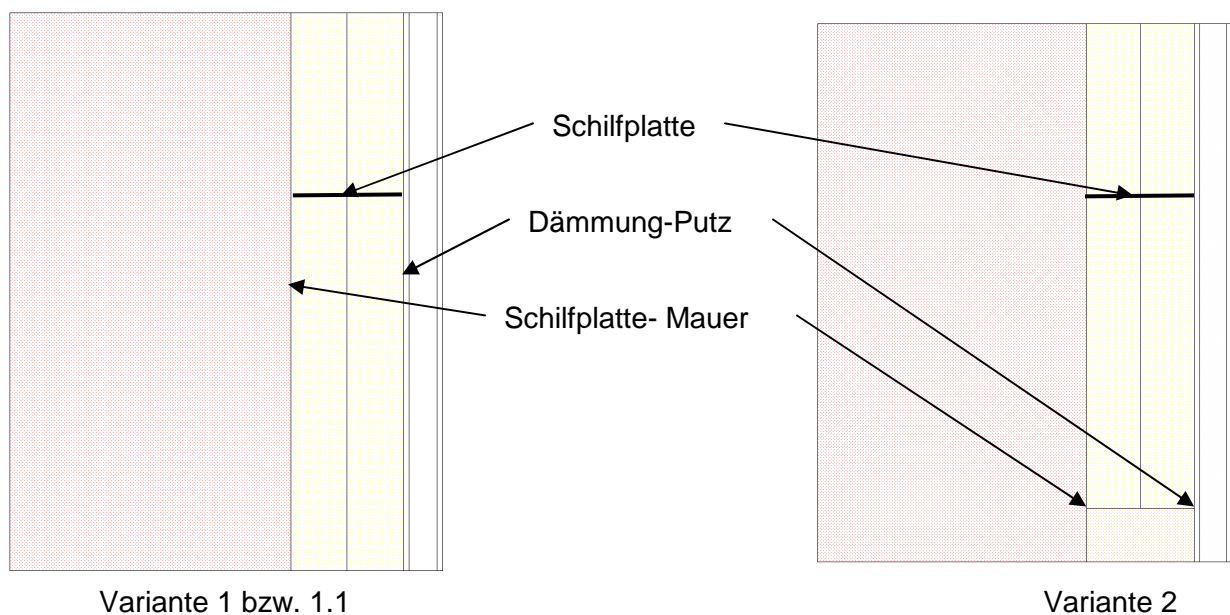


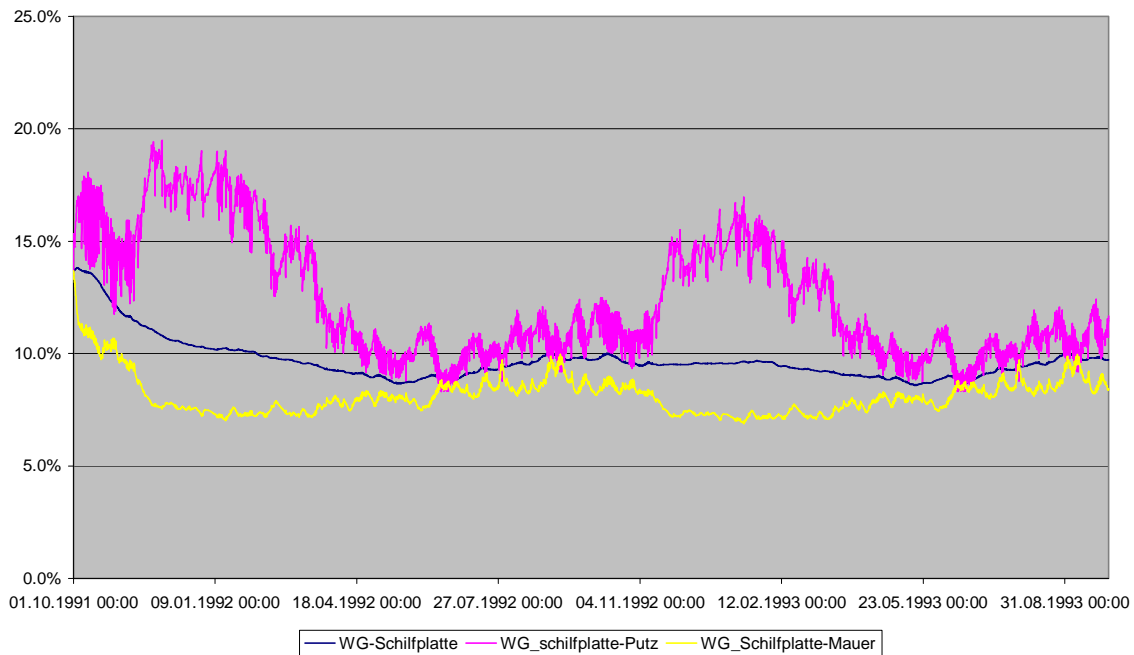
Abb.: Aufbau GrAT

Dicke [cm ]	Bauteil	Baustoff
25,0	Bestandswand	Var1 und Var1.1: Ziegelmauer Var2: Betonmauer
5,0	Dämmebene1	Schilfplatte
5,0	Dämmebene2	Schilfplatte
0,5	Vorspritzer	
2,5	WD-Putz	
0,5	Feinputz	

### Gewählte Messpunkte:



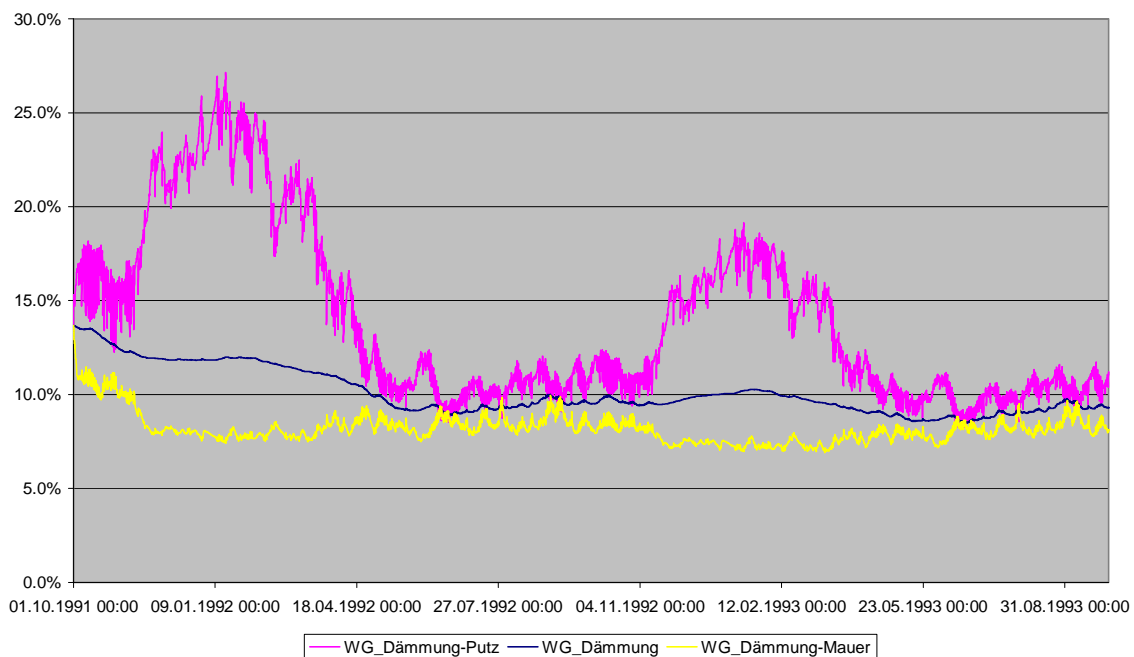
## 9.6. Variante 1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand



### Bewertung:

Ein Feuchtegehalt von 20% wird nicht überschritten. Nach dem ersten Jahr stellt sich in der gesamten Dämmung ein Wassergehalt von ca. 10% ein. In der Grenzschicht zwischen Dämmung und Außenputz sind starke Feuchteschwankungen zu erkennen.

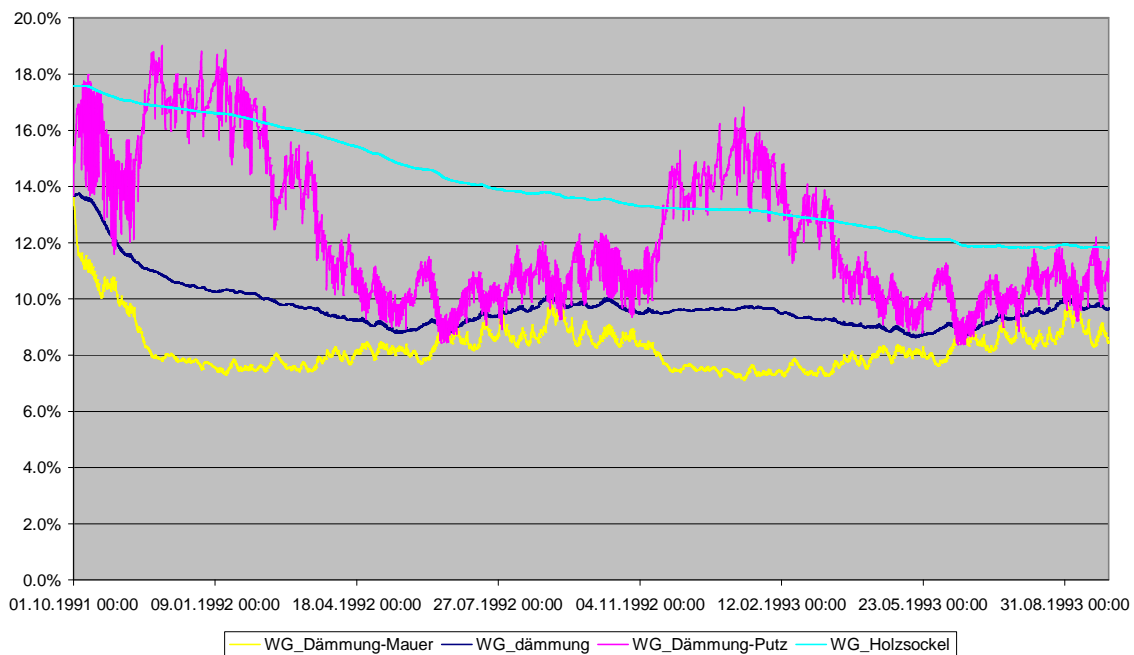
## 9.7. Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Betonwand



### Bewertung:

Ein Feuchtegehalt von 20% wird im ersten Jahr deutlich überschritten. Im eingeschwungenen Zustand werden Maximalwerte in den Wintermonaten von ca. 19% erreicht. In der gesamten Dämmung stellt sich ein Wassergehalt von ca. 10% ein.

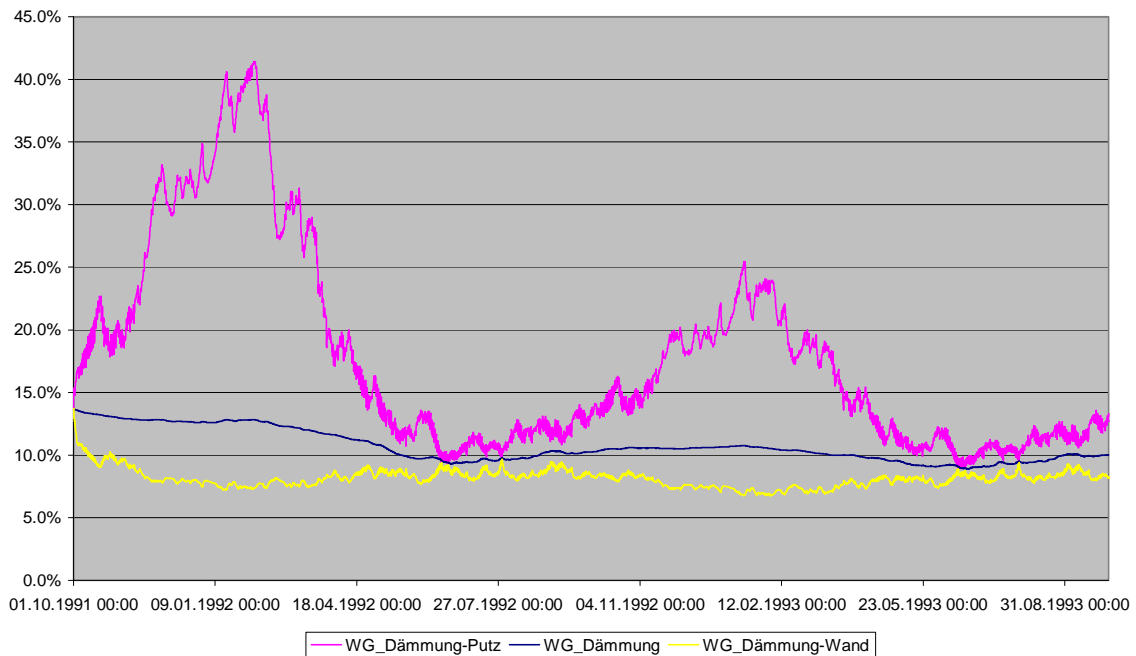
## 9.8. Variante 2: Ausgangsvariante mit Schilfdämmung und Ziegelwand Anschlussdetail Sockellattung



### Bewertung:

Ein Feuchtegehalt von 20% wird nicht überschritten. Der Feuchtegehalt des Holzsockels der Dämmung (siehe Aufbau) ist nur bedingt praktikabel, da die Umgebungsbedingungen von Unten nicht berücksichtigt wurden.

9.9. **Variante 3: Aufbau Var1.1 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (=Worst-Case)**



**Bewertung:**

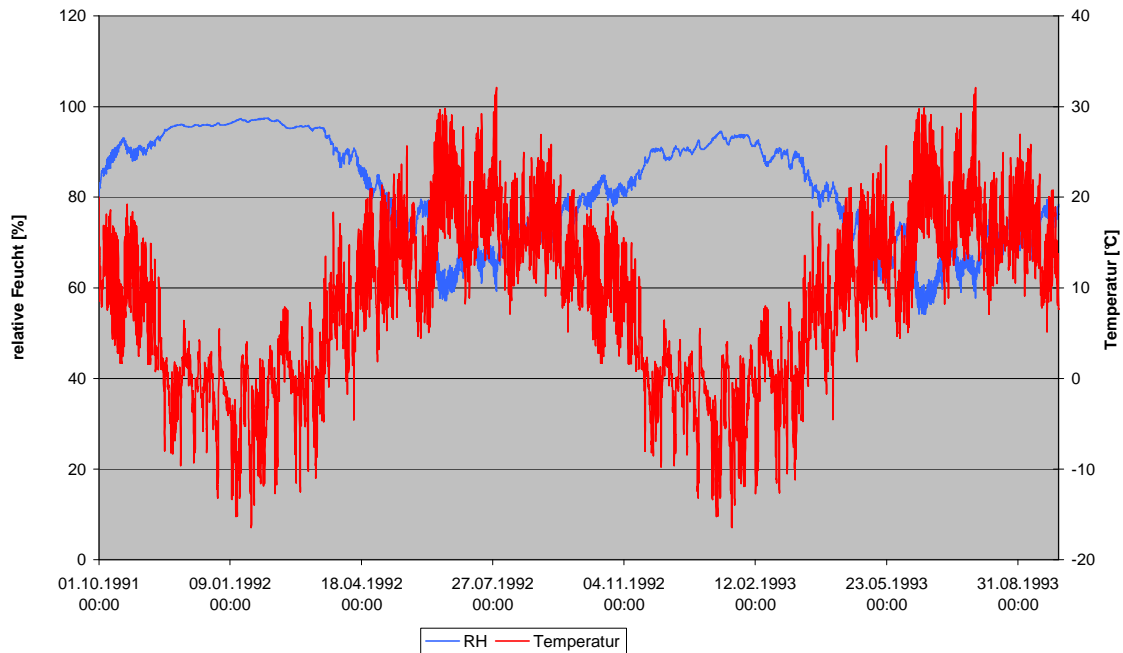
Diese „Worst-Case“ Variante zeigt, dass im ersten Jahr sehr hohe Feuchtwerte erreicht werden. Auch im zweiten Jahr werden Werte von bis zu 25% Feuchte erreicht.

## Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:

Aus den vorhergegangenen Diagrammen lassen sich nun folgende Schlussfolgerungen treffen:

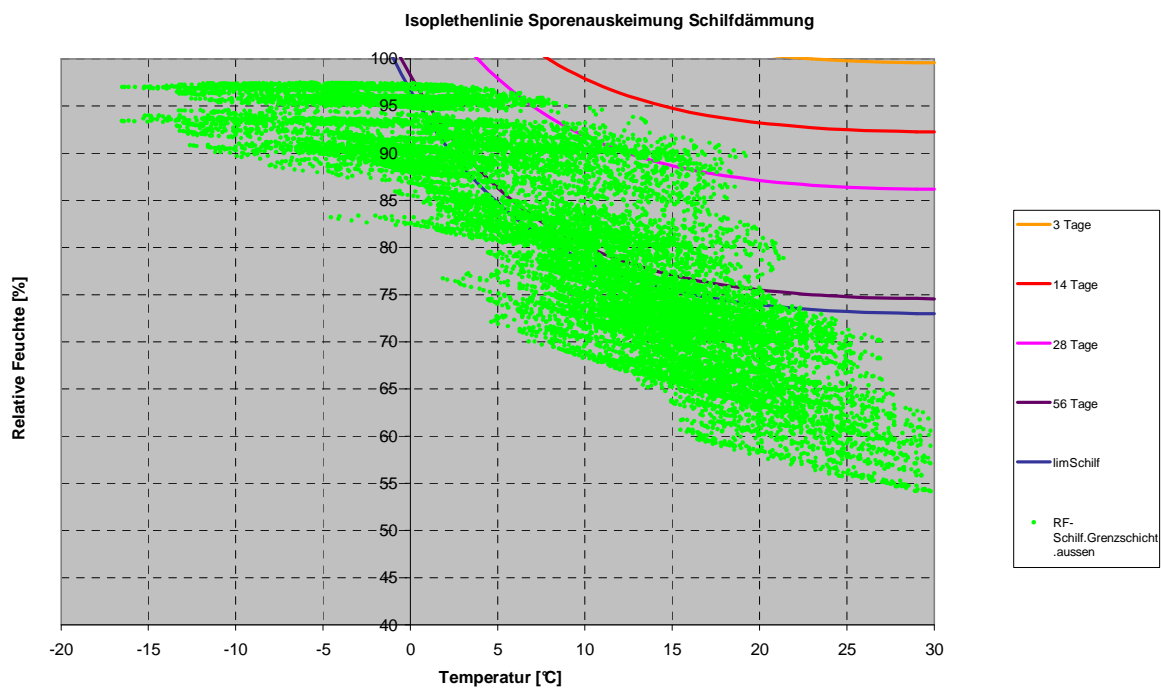
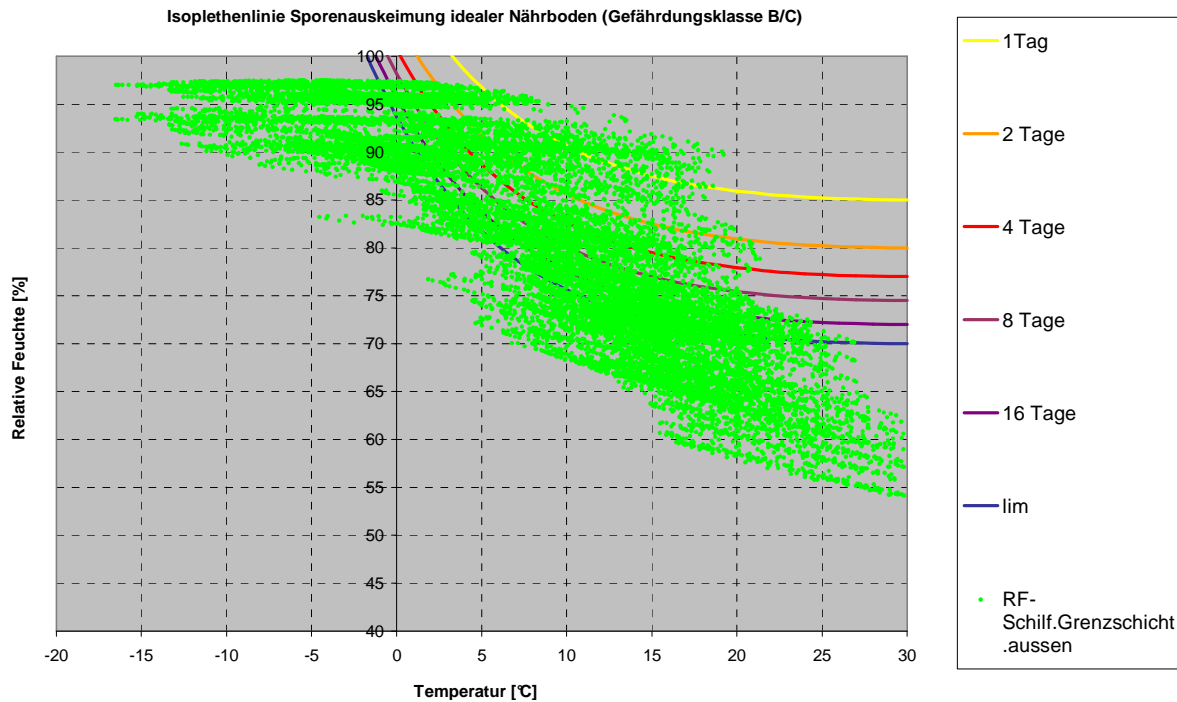
- Die höchste Feuchte tritt in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Putz auf.
- Die Schimmelpilzauskeimung wird in Variante 3 untersucht

Die folgende Abbildung zeigt den hygrothermischen Verlauf der Grenzschicht.



Untersuchung Grenzschicht [Temperatur, relative Feuchte] Variante 3

Die folgenden Abbildungen zeigen das Isoplethenmodell für Schilf und einen idealen Nährboden (Berechnet für beide Simulationsjahre)



**Ergebnisse:**

- Die für die Schimmelpilzbildung relevanten hygrothermischen Bedingungen werden in der Grenzschicht während mehreren Perioden überschritten.
- Bei Verwendung des Schilf-Isoplethensystems wird die 14 Tage Linie nicht überschritten, im Falle des idealen Nährbodens wird die 1 Tages Linie knapp überschritten.

Für die Auskeimung der Sporen ist allerdings ein Mindestzeitraum notwendig, in dem die im Isoplethensystem definierten hygrothermischen Randbedingungen überschritten werden müssen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse dargestellt:

Grenzschicht Dämmung-Putz		Isoplethenmodell Nährboden	idealer
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung	
1Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
2 Tage	0.25	Schimmelbildung nicht möglich	
4 Tage	0.71	Schimmelbildung nicht möglich	
8 Tage	3.54	Schimmelbildung nicht möglich	
16 Tage	10.04	Schimmelbildung nicht möglich	
<b>lim</b>	<b>18.96</b>	Schimmelbildung nicht möglich	

Schilf.Grenzschicht.aussen		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	3.54	Schimmelbildung nicht möglich
<b>limStroh</b>	<b>6.83</b>	Schimmelbildung nicht möglich

## 9.10. Bewertung des Wandaufbaus:

Die Änderung der Bestandwand hat deutlich Auswirkungen auf den Feuchtegehalt der einzelnen Schichten. Mit einer Betonwand als Bestand werden in der Simulation höhere Feuchten erreicht.

Die Untersuchung des Details der Sockelleiste hat nur geringe Änderungen der Feuchte zur Folge.

Die Änderung der Orientierung sowie die Berücksichtigung des Saugeffekts des Baustoffs hat eine geringe Erhöhung der Feuchte in den Bauteilen zur Folge und wird, als schlechteste mögliche Variante auf Schimmelpilz Auskeimung untersucht. Die höchsten Feuchten werden in der Grenzschicht Dämmung und Putz erreicht.

(in der ersten Abschätzung werden hohe Werte für den Feuchtegehalt erreicht)

Eine detaillierte Untersuchung der Grenzschicht hat gezeigt, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von 80-95% einstellt. Die Analyse mittels Isoplethensystem zeigt, dass die hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen Perioden überschritten werden. Eine Analyse der Überschreitungzeiten zeigt, dass keine Schimmelbildung in der untersuchten Schicht auftritt.



Anmerkung:

Eine luftdichte Ausführung des Wandaufbaus ist unbedingt zu gewährleisten, da sonst eine Verschlechterung des Wärmedämmverhaltens und die Möglichkeit von Kondensatbildung bestehen.

Bei dem letzten gemeinsamen Gespräch mit der GrAT wurde überlegt, ob statt den 2 geplanten Schilfplatten mit je 5cm nur eine Platte mit 10cm eingesetzt wird. Aus Sicht der Feuchte wäre diese Änderung positiv, da der möglich kleine Luftspalt zwischen den beiden Platten zu Kondensat führen könnte.

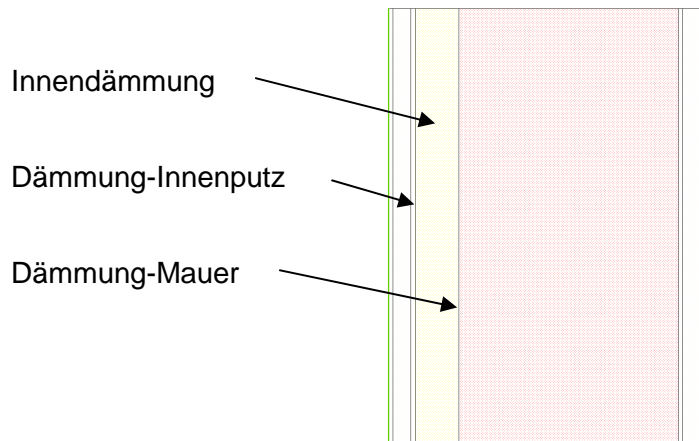
Resümee:

Da in den untersuchten Schichten kein Schimmel auftritt ist der Wandaufbau, unter Voraussetzung einer luftdichten Ausführung, geeignet.

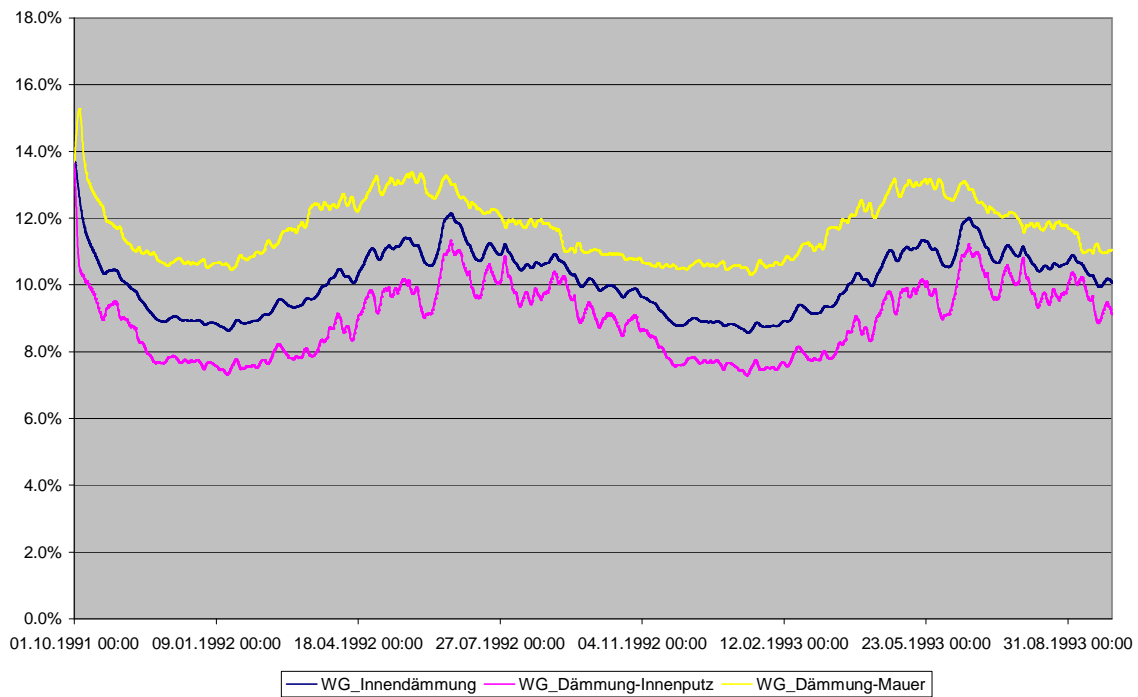
### 3. Innenraumdämmung

Dicke [cm ]	Bauteil	Baustoff
0,5	Inneputz	Vorspritzer
2,5	Inneputz	WD-Putz
0,5	Inneputz	Feinputz
25,0	Bestandswand	Ziegelmauerwerk
5,0	Dämmebene	Schilfplatte
0,5	Außenputz	Vorspritzer
2,5	Außenputz	WD-Putz
0,5	Außenputz	Feinputz

Gewählte Messpunkte:



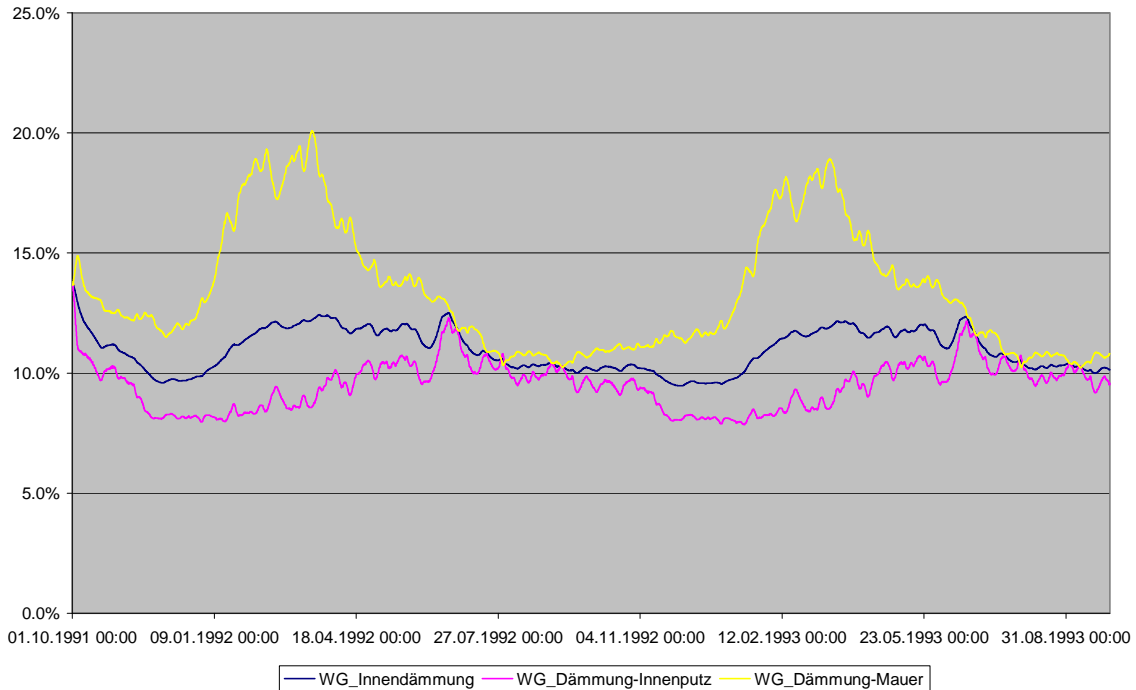
## 9.11. Variante 1: Ausgangsvariante mit 2cm Innenwärmedämmputz



### Bewertung:

Der Feuchtegehalt in der gesamten Innendämmung schwankt zwischen 9 und 12%. In der Grenzschicht Dämmung und Mauer werden Maximalwerte von ca. 13% Feuchte erreicht.

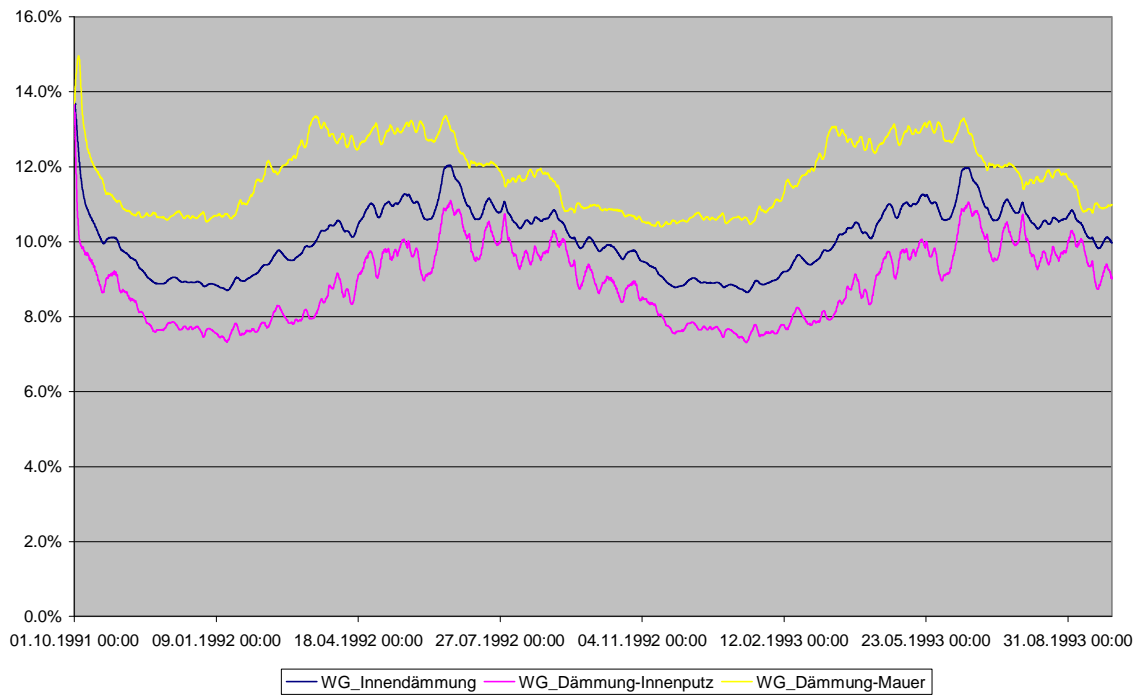
## 9.12. Variante 1.1: Ausgangsvariante mit 2cm Innenwärmedämmputz und erhöhten internen Lasten



### Bewertung:

Durch die erhöhten internen Lasten sind vor allem erhöhte Schwankungen in Grenzschicht zwischen Dämmung und Mauer zu erkennen. Es werden maximale Feuchtwerte von rund 20% erreicht.

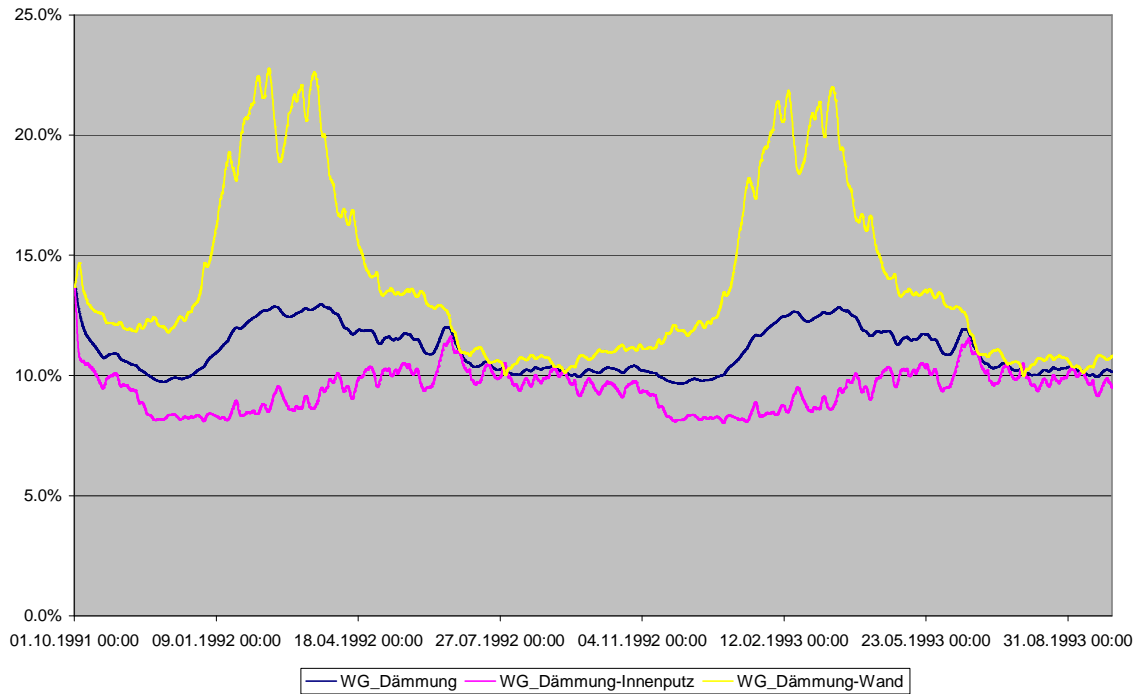
### 9.13. Variante 2: Ausgangsvariante mit 1cm Innenwärmedämmputz



#### Bewertung:

Durch die Verringerung der Putzschicht sind bei „normalen“ internen Lasten nur geringe Änderungen im Vergleich zur Variante mit 2cm zu erkennen.

### 9.14. Variante 2.1: Ausgangsvariante mit 1cm Innenwärmedämmputz und erhöhten Lasten



#### Bewertung:

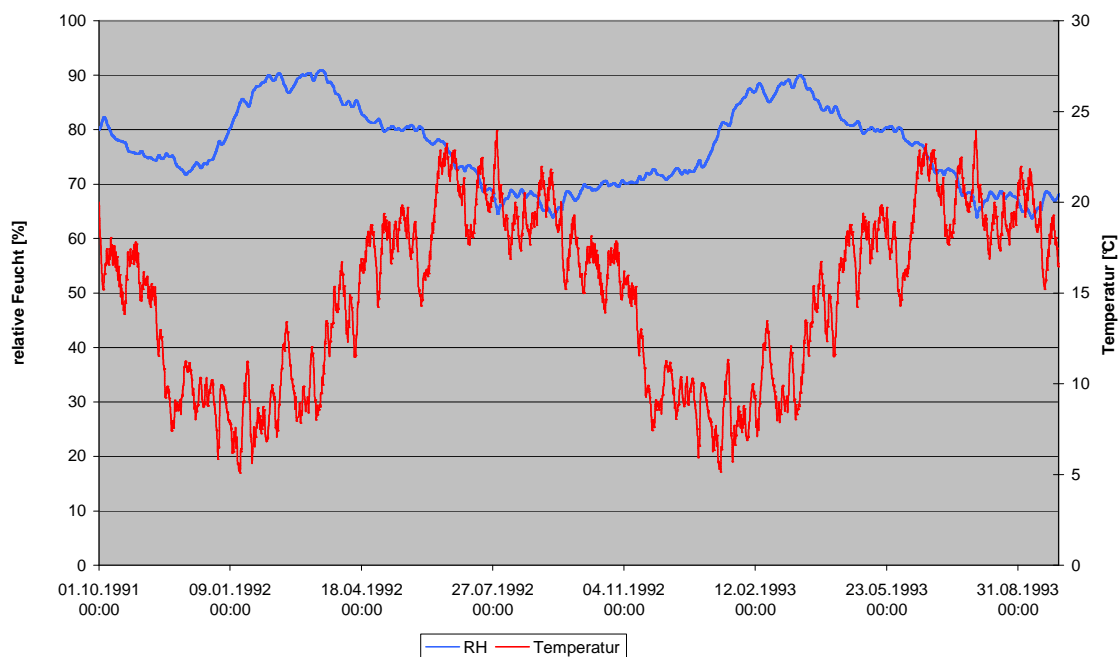
Durch die geringere Putzstärke ist eine erhöhte Sensibilität gegenüber höheren Feuchtelasten zu erkennen. In den kalten Jahreszeiten werden Werte über 20% erreicht.

## 9.15. Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:

Aus den vorhergegangenen Diagrammen lassen sich nun folgende Schlussfolgerungen treffen:

- Die höchste Feuchte tritt in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Wand auf
- Die Schimmelpilzauskeimung wird in Variante 1.1 untersucht.

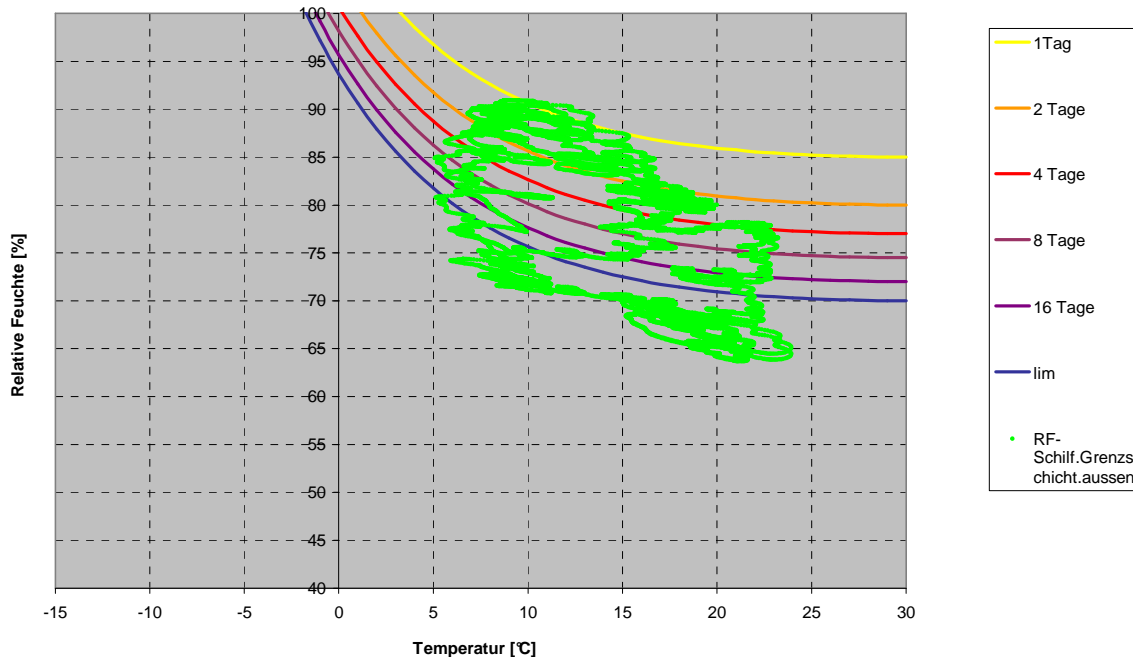
Die folgende Abbildung zeigt den hygrothermischen Verlauf der Grenzschicht.



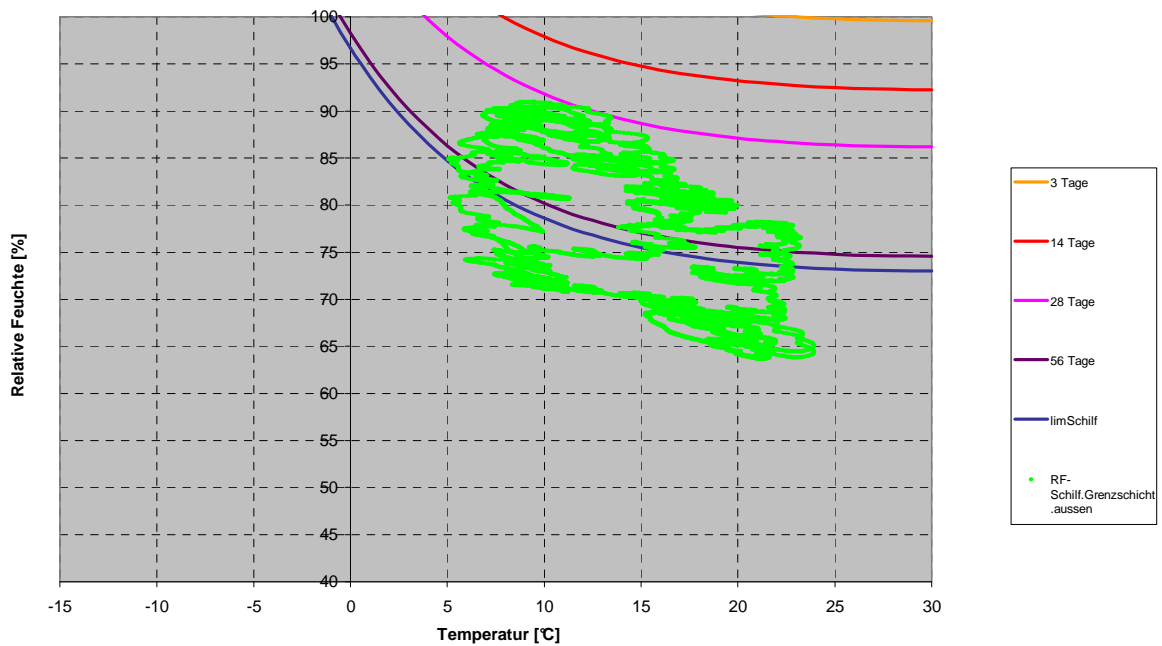
Untersuchung Grenzschicht [Temperatur, relative Feuchte] Variante 1.1

Die folgenden Abbildungen zeigen das Isoplethenmodell für Schilf und einen idealen Nährboden (Berechnet für beide Simulationsjahre)

Isoplethelinie Sporenauskeimung idealer Nährboden (Gefährdungsklasse B/C)



Isoplethelinie Sporenauskeimung Schilfdämmung



Ergebnisse:

- Die für die Schimmelpilzbildung relevanten hygrothermischen Bedingungen werden in der Grenzschicht während mehreren Perioden überschritten.
- Bei Verwendung des Schilf-Isoplethensystems wird die 28 Tage Linie nicht überschritten, im Falle des idealen Nährbodens wird die 2 Tages Linie knapp überschritten.

Für die Auskeimung der Sporen ist allerdings ein Mindestzeitraum notwendig, in dem die im Isoplethensystem definierten hygrothermischen Randbedingungen überschritten werden müssen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse dargestellt:

Grenzschicht Innendämmung-Mauer	Isoplethenmodell	idealer
---------------------------------	------------------	---------



Grenzschicht Innendämmung-Mauer		Nährboden
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
1 Tag	0.17	Schimmelbildung nicht möglich
2 Tage	41.54	Schimmelbildung
4 Tage	123.00	Schimmelbildung
8 Tage	147.33	Schimmelbildung
16 Tage	161.21	Schimmelbildung
<b>lim</b>	<b>180.21</b>	Schimmelbildung nicht möglich

Grenzschicht Innendämmung-Mauer		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	147.17	Schimmelbildung
<b>limStroh</b>	<b>151.50</b>	Schimmelbildung nicht möglich

Da die Grenzwerte deutlich überschritten werden und Schimmelbildung möglich ist werden zwei neue Varianten untersucht:

**VarA** Verringerung der internen Lasten auf „normale“ Belastungen (=Var1)

**VarB** Erhöhung des Wärmedämmputzes auf 25mm und „normale“ Belastung

Var A: (=Var1) Berechnung mit normalen internen Feuchtelasten:

Grenzschicht		Isoplethenmodell idealer Nährboden
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
1 Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
2 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
4 Tage	5.50	Schimmelbildung
8 Tage	42.79	Schimmelbildung
16 Tage	104.25	Schimmelbildung
<b>lim</b>	<b>167.29</b>	Schimmelbildung nicht möglich

Grenzschicht		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	42.46	Schimmelbildung nicht möglich
<b>limStroh</b>	<b>98.50</b>	Schimmelbildung nicht möglich

Kommentar:

Gemäß Isoplethenmodell Schilf tritt keine Schimmelbildung auf. Mit idealem Nährboden tritt Schimmel auf

### Var B: Erhöhung des Wärmedämmputzes auf 25mm und „normale“ Belastung

Grenzschicht Innendämmung-Mauer		Isoplethenmodell Nährboden	idealer
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung	
1 Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
2 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
4 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
8 Tage	41.71	Schimmelbildung	
16 Tage	102.96	Schimmelbildung	
<b>lim</b>	<b>163.29</b>	Schimmelbildung nicht möglich	

Grenzschicht Innendämmung-Mauer		Isoplethenmodell Schilf	idealer
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung	
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
56 Tage	41.00	Schimmelbildung nicht möglich	
<b>limStroh</b>	<b>97.54</b>	Schimmelbildung nicht möglich	

#### Kommentar:

Gemäß Isoplethenmodell Schilf tritt keine Schimmelbildung auf. Mit idealem Nährboden tritt Schimmel auf

## **9.16. Bewertung des Wandaufbaus:**

Bei diesem Wandaufbau waren einerseits die Dicke des Wärmedämmputzes und andererseits die internen Feuchtelasten von entscheidender Bedeutung.

Die Änderung der Dicke von 2cm auf 1cm hat nur minimale Änderungen des Wassergehalts zur Folge

Die Änderung der internen Lasten hat vor allem in den Wintermonaten größere Schwankungen zur Folge.

Der höchste Wassergehalt ist in der Grenzschicht zwischen Dämmung und Mauer festzustellen.

Eine detaillierte Untersuchung der Grenzschicht hat gezeigt, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von 70-90% einstellt. Die Analyse mittels

Isoplethensystem zeigt, dass die hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen Perioden überschritten werden. Eine Analyse der Überschreitungszeiten zeigt, dass in der gewählten Variante (2cm Putz und erhöhte interne Lasten) Schimmelbildung auftritt. Da der gewählte Aufbau nicht verwendet werden kann wurden 2 alternative Aufbauten vorgeschlagen:

VarA: Verringerung der internen Lasten auf „normal“ -> Es entsteht kein Schimmel unter Berücksichtigung des Isoplethenmodells für Schilf

VarB: Erhöhung der Putzstärke auf 2,5cm und „normale“ Feuchtelasten -> Es entsteht kein Schimmel unter Berücksichtigung des Isoplethenmodells für Schilf; minimale Verbesserungen im Vergleich zur alternativ Variante B.

### Resümee:

Die Verwendung von Schilfplatten zur Innendämmung ist sensibel. Um die Schimmelvermeidung auszuschließen wäre der Einsatz von Sockel- bzw. Wandheizungen oder der Einsatz einer Dampfbremse zu überlegen.

Var A und B ist als Innendämmung unter Einhaltung folgender Maßnahmen geeignet:

- Keine erhöhten Feuchtelasten im Innenraum (Sanitärräume)
- Kein Feuchteintrag in das Mauerwerk durch Schlagregen (mögliche Gegenmaßnahmen: konstruktiver Schlagregenschutz; Einsatz einer stark Wasserabweisenden, diffusionsoffenen Farbe)

Soll die Funktionstüchtigkeit der Dämmung auch bei höheren Feuchtelasten sichergestellt werden, könnten Innenfarben bzw. Innenputze mit höheren mü-Werten eingesetzt werden.

## 4. Holzständerkonstruktion

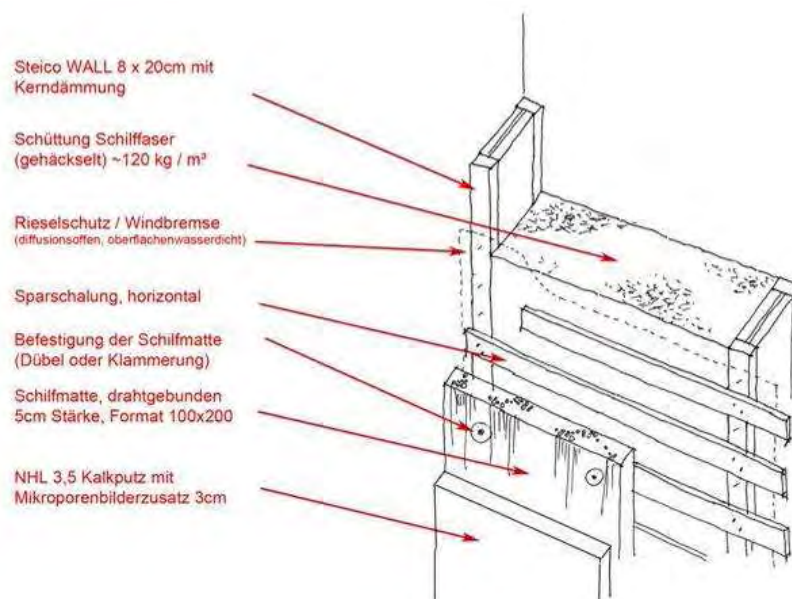
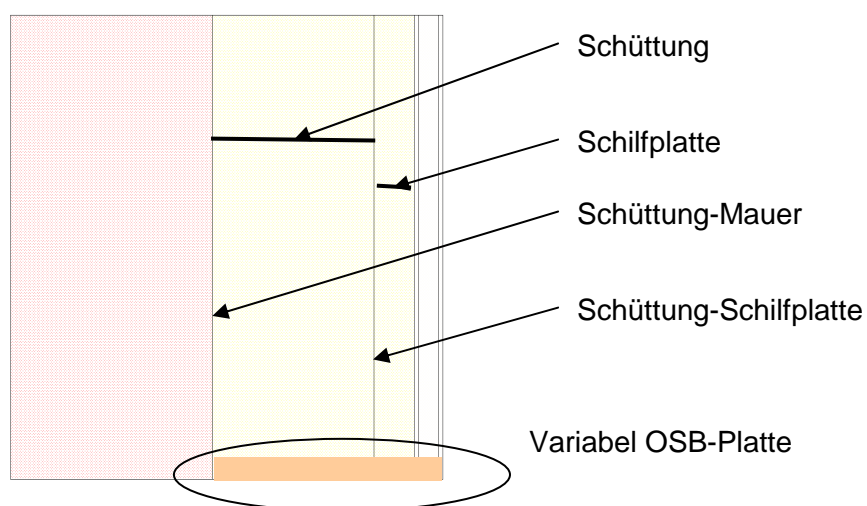


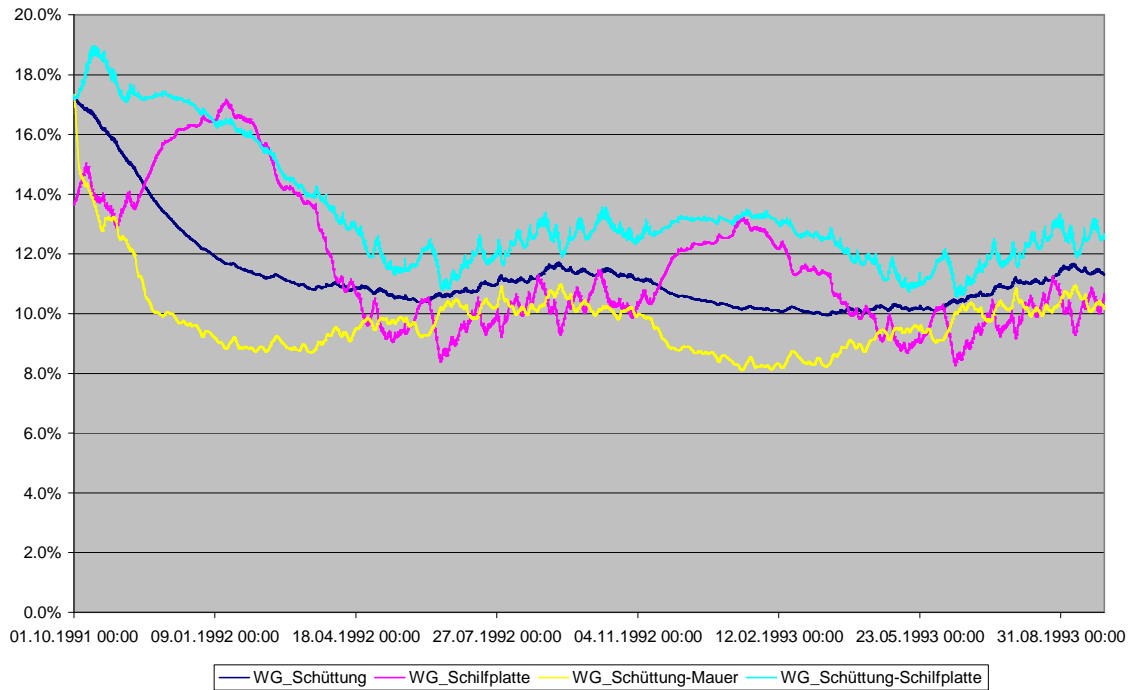
Abb.: Aufbau GrAT (Änderung: ohne Rieselschutz, ohne Schalung)

Dicke [cm ]	Bauteil	Baustoff
25,0	Bestandswand	Var1: Ziegelmauerwerk Var2: Stahlbetonmauer
20,0	Dämmschicht	Schilfschüttung zwischen Steico Träger
5,0	Putzträger/Dämmebene	Schilfrohrplatte
0,5	Vorspritzer	
2,5	WD-Putz	
0,5	Feinputz	

Gewählte Messpunkte:



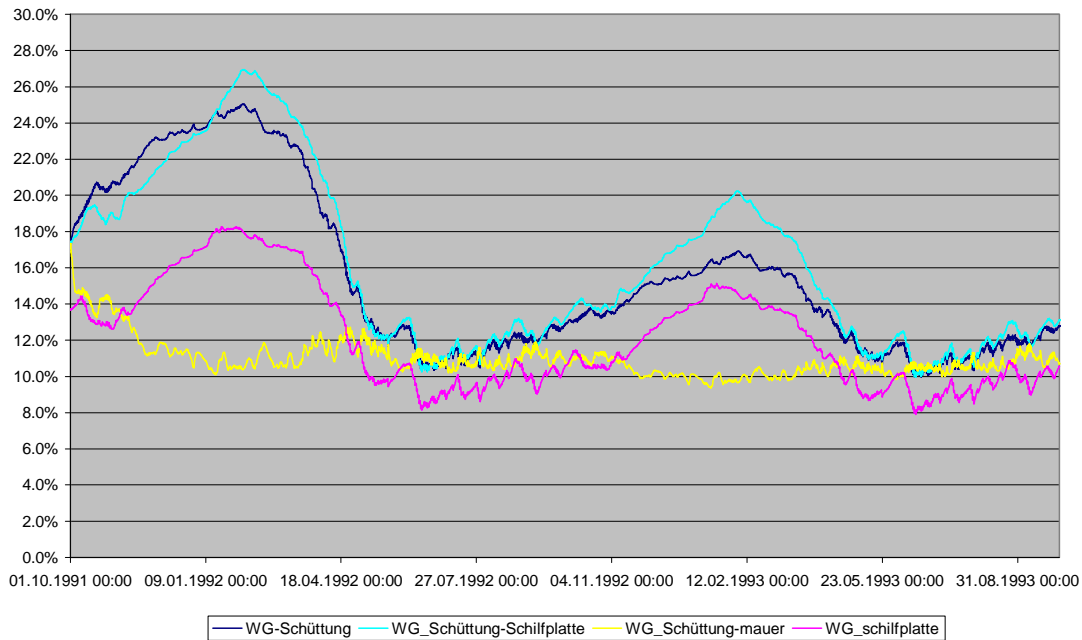
### 9.17. Variante 1: Ausgangsvariante mit Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz)



#### Bewertung:

Im eingeschwungenen Zustand stellt sich in der Schüttung ein mittlerer Feuchtegehalt von 10-12% ein. Die Spitzen werden in der Grenzschicht Schüttung zur Schilfplatte erreicht.

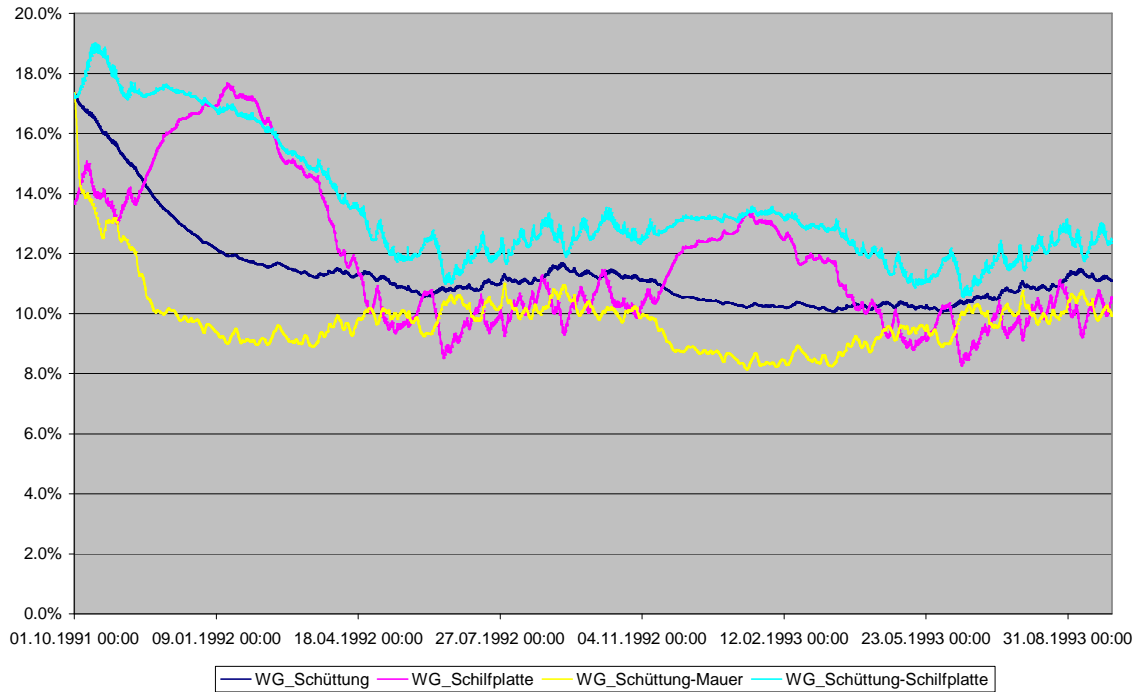
### 9.18. Variante 1.1: Ausgangsvariante mit Ziegelwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz) Anschluss OSB Platte



#### Bewertung:

Durch den Abschluss mit der dichten OSB-Platte werden in der Schüttung im Anschluss zur Platte erhöhte Feuchten erreicht.

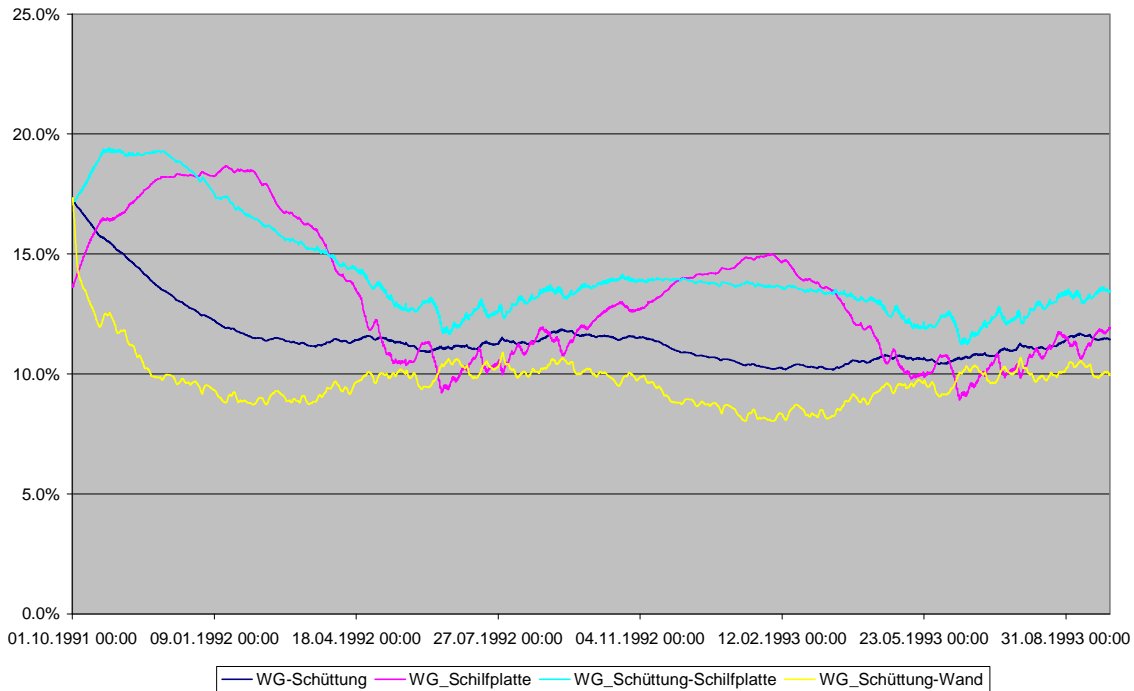
### 9.19. Variante 2: Ausgangsvariante mit Betonwand (Schilfplatten Nut-Feder verlegt; dienen gleichzeitig als Rieselschutz)



**Bewertung:**

Durch die Veränderung der Bestandswand sind nur geringe Änderungen entstanden.

9.20. **Variante 3: Aufbau Var2 mit Ausrichtung nach Norden und Berücksichtigung des Saugverhaltens des Dämmstoffs (=Worst-Case)**



**Bewertung:**

Im „Worst-Case“ Szenario werden in Grenzschicht zwischen Schüttung und Schilfplatte im eingeschwungenen Zustand Feuchtwerte unter 15% erreicht. Der Feuchtegehalt der außenliegenden Schilfplatte ist durch die Orientierung nach Norden höher.

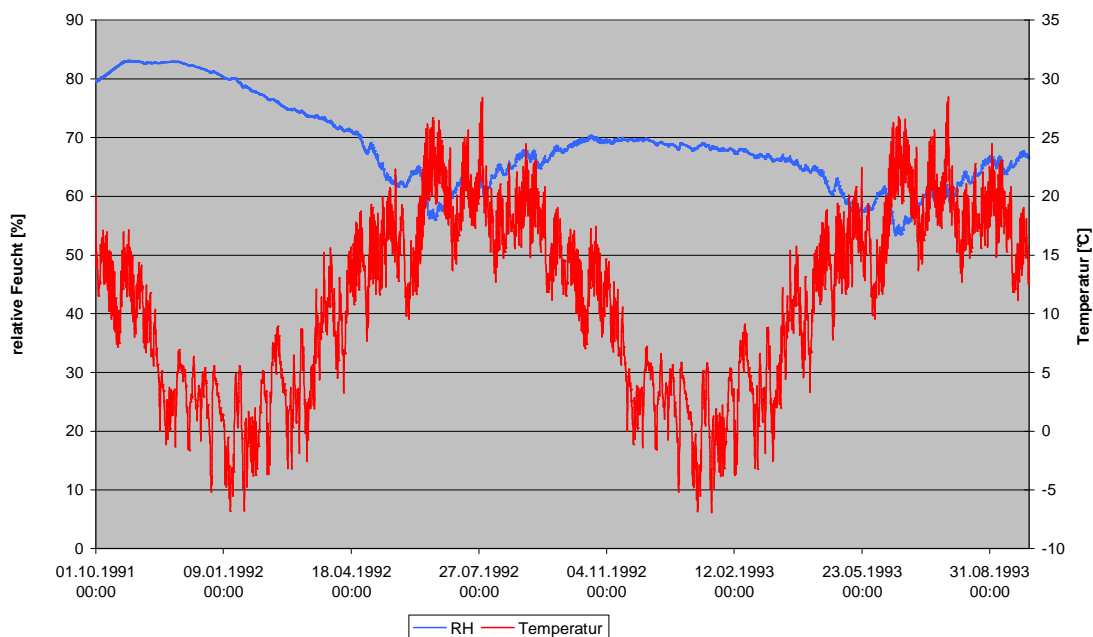


## 9.21. Schimmelpilzanalyse mittels Isoplethenmodell:

Aus den vorhergegangenen Diagrammen lassen sich nun folgende Schlussfolgerungen treffen:

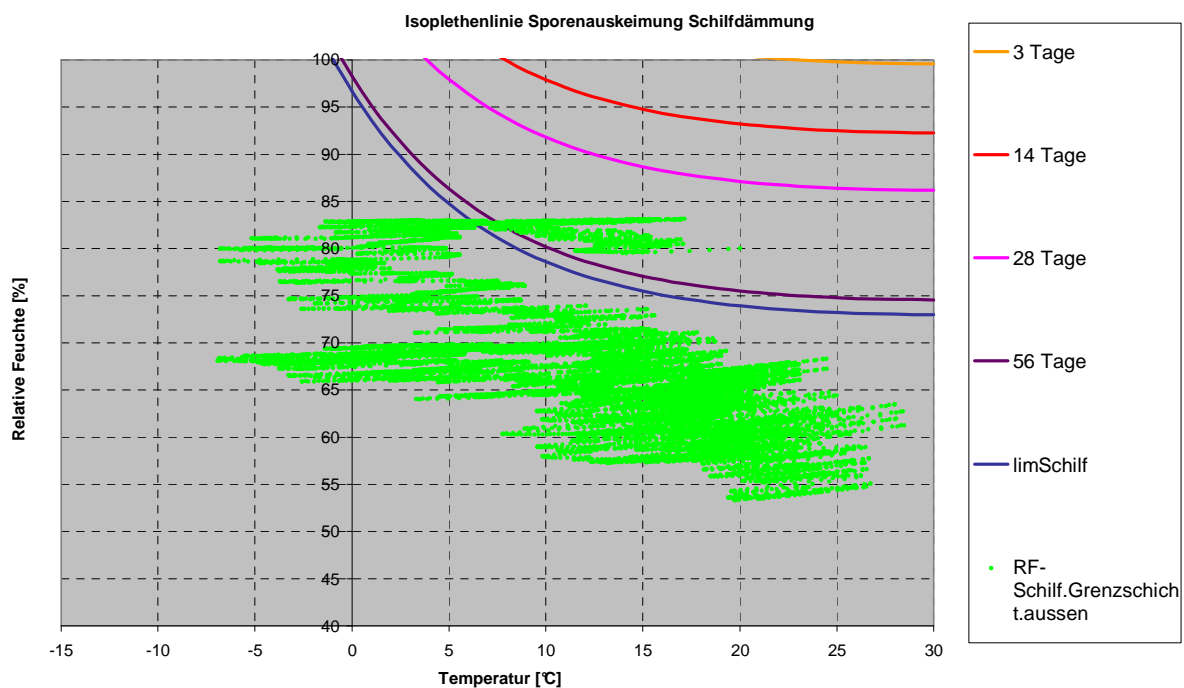
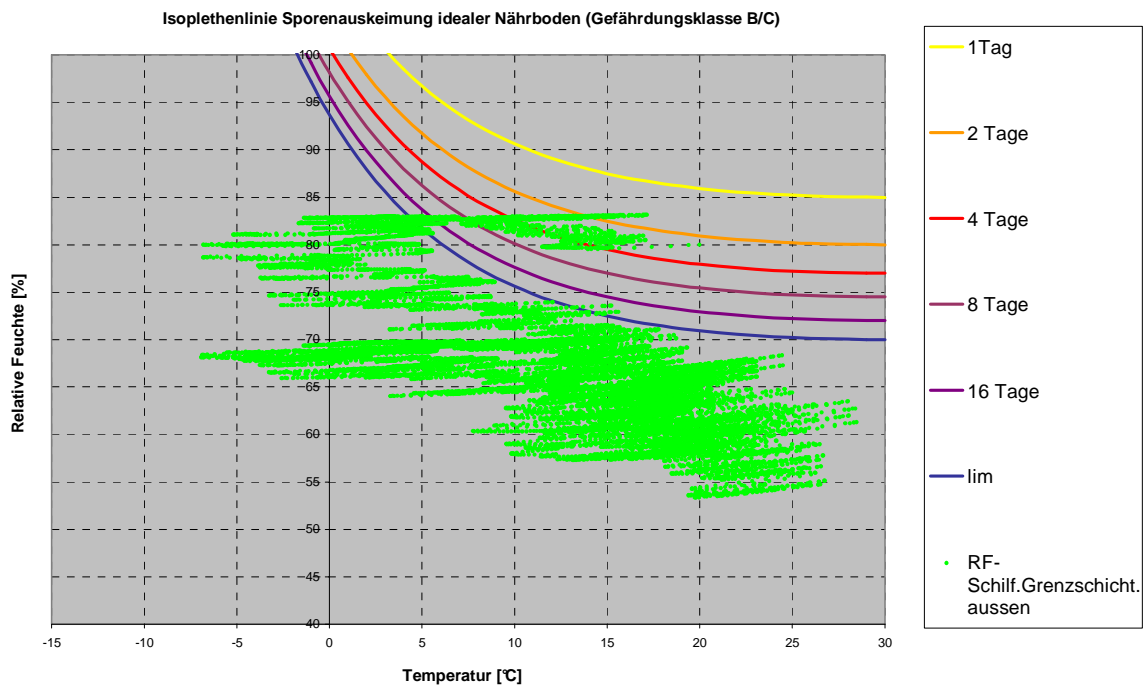
- Die höchste Feuchte tritt in der Grenzschicht zwischen Schüttung und Schilfplatte auf.
- Die Schimmelpilzauskeimung wird in Variante 3 untersucht

Die folgende Abbildung zeigt den hygrothermischen Verlauf der Grenzschicht.



Untersuchung Grenzschicht [Temperatur, relative Feuchte] Variante 3

Die folgenden Abbildungen zeigen das Isoplethenmodell für Schilf und einen idealen Nährboden (Berechnet für beide Simulationsjahre)



**Ergebnisse:**

- Die für die Schimmelpilzbildung relevanten hygrothermischen Bedingungen werden in der Grenzschicht während mehreren Perioden überschritten.
- Bei Verwendung des Schilf-Isoplethensystems wird die 28 Tage Linie nicht überschritten, im Falle des idealen Nährbodens wird die 2 Tages Linie knapp überschritten.

Für die Auskeimung der Sporen ist allerdings ein Mindestzeitraum notwendig, in dem die im Isoplethensystem definierten hygrothermischen Randbedingungen überschritten werden müssen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse dargestellt:

Grenzschicht Schüttung-Schilfplatte		Isoplethenmodell Nährboden	idealer
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung	
1Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
2 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
4 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
8 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
16 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
<b>lim</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich	

Grenzschicht Schüttung-Schilfplatte		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
<b>limStroh</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich

#### Schimmelauswertung Variante 1.1:

In weiterer Folge wird die Schimmelbildung in der Variante 1.1 untersucht. Die untersuchten Schichten (siehe oben) wurden in der Grenzschicht zur OSB- Platte betrachtet. Für die Schimmelauswertung wurde die Grenzschicht Schüttung- Schilfplatte untersucht.

Grenzschicht Innendämmung-Mauer		Isoplethenmodell Nährboden	idealer
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung	
1Tag	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
2 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
4 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
8 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
16 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich	
<b>lim</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich	

Schilf.Grenzschicht.aussen		Isoplethenmodell Schilf
Mindestdauer	Tatsächliche maximale Dauer	Bewertung
3 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
14 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
28 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
56 Tage	0.00	Schimmelbildung nicht möglich
<b>limStroh</b>	<b>0.00</b>	Schimmelbildung nicht möglich

## 9.22. Bewertung des Wandaufbaus:

Die Änderung der Bestandswand hat geringe Auswirkungen auf den Feuchtegehalt der einzelnen Schichten. Mit einer Betonwand als Bestand werden in der Simulation höhere Feuchten erreicht.

Die Variation mit der OSB-Platte als Tragkonstruktion zeigt leicht erhöhte Feuchten im Vergleich zu der Ausgangsvariante.

Die Änderung der Orientierung sowie die Berücksichtigung des Saugeffekts des Baustoffs hat eine geringe Erhöhung der Feuchte in den Bauteilen zur Folge und wird, als schlechteste mögliche Variante auf Schimmelpilztauskeimung untersucht. Die höchsten Feuchten werden in der Grenzschicht Schüttung und Schilfplatte erreicht.

Eine detaillierte Untersuchung der Grenzschicht hat gezeigt, dass sich nach der Einschwingphase eine relative Feuchte von 60-70% einstellt. Die Analyse mittels Isoplethensystem zeigt, dass die hygrothermischen Bedingungen in verschiedenen Perioden überschritten werden. Eine Analyse der Überschreitungzeiten zeigt, dass keine Schimmelbildung in der untersuchten Schicht auftritt.

### Anmerkung:

Eine luftdichte Ausführung des Wandaufbaus ist unbedingt zu gewährleisten, da sonst eine Verschlechterung des Wärmedämmverhaltens und die Möglichkeit von Kondensatbildung bestehen.

### Resümee:

Da in den untersuchten Schichten kein Schimmel auftritt ist der Wandaufbau, unter Voraussetzung einer luftdichten Ausführung, geeignet.

Die Untersuchung der Variante 1.1 (Anschlussbereichs zur OSB Platte) hat gezeigt, dass keine Schimmelpilzbildung möglich ist.