

Optimierung ökologischer  
Konstruktionskomponenten für  
die industrielle Serienproduktion  
von Fertigteilen  
„System Lehm-Passivhaus Tattendorf“

H. Kirl, MBA

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**5/2012**

**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>

Optimierung ökologischer  
Konstruktionskomponenten für  
die industrielle Serienproduktion  
von Fertigteilen  
„System Lehm-Passivhaus Tattendorf“

Herbert Kirl, MBA  
Roland Meingast  
LOPAS AG

Tattendorf, Juli 2011

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

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



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	8
Abstract	11
1. Einleitung	15
1.1 Ablauf des Vorhabens	16
1.1.1 Baustoffentwicklung	16
1.1.2. Industrielle Verarbeitung	16
2. Hintergrundinformation	18
2.1 Entwicklung und Versuchsreihen von Verarbeitungsmethoden unterschiedlicher Materialien an vorgefertigten Kleinmodellen	19
2.1.1 Anforderungen an Unterkonstruktionsvarianten	19
2.1.2 Entwickeln verschiedener Unterkonstruktionsvarianten	19
2.1.3 Verklebung von Flachsvlies auf Holzuntergründen:	20
2.1.4 Brandwiderstandstests mit Kleinmodellen / Kleinbrandmodellbau	20
2.2 Entwicklung und Herstellung von 1 : 1 Wandmodellen mit unterschiedlichen Wandöffnungssituationen	21
2.2.1 Erste Brandwiderstandsprüfung mit 1:1-Wandmodell	22
2.2.2 Zweiter Brandversuch im Juli 2011 bei MA 39 mit einem Deckenelement unter Last	26
2.2.3 Patentanmeldung	26
2.3. Entwicklung einer rationellen und industriellen Einbringung von Strohdämmung inkl. Herstellung von Prototypen	27
2.3.1 Detailentwicklung Strohhäckseldämmung mit Stabilisierung	27
2.3.2 Strohhäcksel Einblasversuche	28
2.3.3 Strohhäcksel Detailentwicklungen	29
2.3.4 Konzeptprüfung	31
2.3.5 Mahltechnik	31
2.3.6 Erweiterte Strohhäcksel Einblasversuche	32
2.3.9 Strohhäckselerzeugung	33
2.3.10 Grundkonzept für eine zukünftige rationelle Strohhäcksel-Einbringung in einer industriellen Fertigung	40
2.4. Entwicklung maschineller Beschichtungsverfahren für die massive Lehmbaustoffschicht	41
2.4.1 Beschichtungsmaterial und -aufbau	41

2.4.2	Brandwiderstandstests an Kleinmodellen	41
2.4.3	Fertigung/Aufbringung der Lehmschicht im Werk:	42
2.4.4	Lehmstoff-Einbringung	42
2.4.5	Integration der Lehm-Beschichtung in die Fertigung	43
2.4.6	Befüllungs-Varianten für das liegende Fertigteil	45
2.4.7	Prozessabschnitte nach dem Befüllen:	45
2.4.8	Lehm-Beschichtung	46
2.4.9	Optimierung des LOPAS-Wandaufbaues	49
2.4.10	Kostensenkungspotential bei der LOPAS – Wandkonstruktion; noch zu lösende Details	49
2.4.11	Ergebnisstand bei weiteren Verbesserungen der Einbringtechnik für die Biofaserlehm-Grundsicht	51
2.4.12	Lehm- Feinputz-Deckschicht	51
2.5.	Trocknungsversuche mit der Lehm-beschichtung auf Wandmodellen unter industriellen Umgebungsbedingungen	52
2.5.1	Lehm-Trocknung	52
2.6.	Recherche von Unterkonstruktions-materialien und Anbietern von Fertigungs-ausrüstungen	56
2.7	Entwicklung von Produktionsprozessen inklusive Lager-, Verpackungs-, Liefer- und Transportlogistik	56
2.7.1	Europäische Technische Zulassung (ETZ) für LOPAS Fertigteile	56
2.7.2	Messebesuche	56
2.7.3	Besichtigung von Produktionsanlagen	57
2.7.4	Schematische Produktionsplanung	57
3.	Ergebnisse des Projekts	57
4.	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Projektes	59
4.1	Einpassung in das Programm	60
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms	60
4.3	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projekt-ergebnisse	61
5.	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	60
6.	Ausblick und Empfehlungen	61
7.	Anhang	61



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

In den HdZ Projekten: Bauteilentwicklung (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id2759>) und Demonstrationsbau Lehm-Passivhaus Tattendorf (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id2758>) wurde ein hocheffizientes ökologisches Bausystem erfolgreich bis ins Prototypstadium entwickelt. Die LOPAS AG plante nun die Umsetzung dieses Baukonzepts durch Errichtung einer industriellen Fertigungsanlage in Dobersberg im NÖ Waldviertel. Lehm und Stroh sind unter allen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit (Klimaschutz, Abfallfreiheit, Versorgungssicherheit) als regional in großen Mengen verfügbare, praktisch erneuerbare Ressourcen optimale Baustoffe. Auch die Kombination des schweren mineralischen Baustoffes Biofaserlehm mit dem modernen Holzleichtbau und mit Strohdämmung ist optimal, wie die Ergebnisse des Monitoringprojekts der AEE (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id4844>) zeigen. Jedoch ist die Kombination dieser drei, potentiell nachhaltig in großen Mengen verfügbaren Baustoffe in die heutige Fertighausproduktionstechnologie nach Stand der Technik nicht wirtschaftlich integrierbar. Es bedarf einer auf die Materialeigenschaften abgestimmten Entwicklung und Optimierung von neuen oder modifizierten Fertigungstechnologien einerseits und der Bauteilkonstruktionen andererseits. Denn die heute verfügbare Fertigungstechnologie ist ganz auf die Verwendung von plattenförmigen, (vor allem Gips-Werkstoffen) optimiert.

Zum ökologischen Fußabdruck via Ökobilanzzahlenvergleich als Vergleichsmaßstab:

Das Demonstrationsprojekt LPH Tattendorf hat gezeigt, dass der ökologische Fußabdruck der dort verwendeten Bauweise nicht mehr als 1/6 eines leistungsmäßig gleichwertigen Massivbaus betragen muss. Überraschenderweise war der ökologische Fußabdruck dieser Bauweise aber zugleich um mehr als die Hälfte kleiner als des nach OIB-Bewertung zweitgereihten, technisch ähnlichen ökologischen PH-Demonstrationsprojekts.

### **These zur Zukunftsfähigkeit:**

**Passivhaus-Konzepte können erst dann als nachhaltig und damit klimaneutral bezeichnet werden, wenn auch die graue Energie der Baustoffe auf ein Maß im Bereich des vorliegenden ökologischen Konzepts reduziert wird.**

## **Inhalte und Zielsetzungen**

Bau von 1:1 Fertigteil-Modellen in Holzrahmenbauweise für Tests mit Strohdämmung und Biofaserlehm-Aufbringung:

### **Baustoff Stroh:**

Die Verwendung von Ballenstroh jeglicher Art in der industriellen Fertigung brachte bisher Kosten - Nachteile, die tendenziell die Einsparung an Materialkosten überwogen. Daher sollte als wesentliche Veränderung gegenüber dem Prototyp LPH Tattendorf im vorliegenden Projekt Strohhäckseldämmung eingesetzt werden. Die Testmodelle sollten dazu dienen industrielle Technologien für die Einbringung unter Berücksichtigung des Setzungs- und Brandverhaltens sowie der speziellen bauphysikalischen Eigenschaften dieses Materials zu entwickeln.

### **Baustoff Lehm:**

Die Aufbringung von Lehmputzen ist zwar Stand d. Technik, jedoch war die rationelle Trocknung im Fertigungsprozess und eine Optimierung der Materialzusammensetzung in einem effizienten Produktionsablauf zu entwickeln.

Die Einsparung an Umweltbelastungen bei der Herstellung sind (bei baubiolog. Konzepten) etwa so groß wie die Beheizung des Passivhauses mit Erdgas für 130 Jahre.

Ziel war daher die industrielle Umsetzung eines solchen nachhaltigen ökologischen Passivhaus-Konzepts

## **Methodische Vorgehensweise**

Die angestrebte Entwicklung einer industriellen Fertigung von Lehm-Passivhäusern bestand aus zwei Phasen. In der ersten Phase wurden unterschiedliche Materialien und Fertigungstechniken entwickelt und in ihrer Umsetzung erprobt. Zu diesem Zweck wurden Kleinmodelle in unterschiedlichen Wandstärken und Größen hergestellt. Bei den Kleinmodellen wurden verschiedene Techniken der Strohhäckseleinbringung entwickelt und erprobt. Die geeigneten Techniken wurden an den 1:1 Wandmodelle weiterentwickelt und erprobt. Für die Lehmbaustoffschicht waren effizient zu produzierenden Unterkonstruktionen zu entwickeln. Dafür war es notwendig ein breites Angebot an Materialien zu recherchieren und auf Tauglichkeit zu prüfen. Für taugliche Materialien wurden verschiedene Fertigungsmethoden entwickelt und erprobt. Die Fertigung wurde im Zusammenhang mit der Beschichtung der Lehmbaustoffe entwickelt. Die Beschichtung wurde in der ersten Testvariante mit herkömmlichen Putzmaschinen realisiert. Die Fertigungsmethoden wurden an den 1:1 Wandmodellen zur Serienreife entwickelt. Mit den verschiedenen Trocknungsversuchen von den Lehmbaustoffschichten konnte die Phase 1 erfolgreich abgeschlossen werden. In der Phase zwei mündeten die Anforderungen, welche in der

Phase 1 ermittelt wurden, in die Vorbereitung der industriellen Umsetzung. Die Recherche von Ausrüstungsanbietern stellte sich als wenig ergiebig heraus, da eine industrielle Verarbeitung der Materialkombination Holz/Stroh/Lehm eine völlige Neuentwicklung der Fertigungstechnik erfordert. Das Ziel war ein fertiges Produktionskonzept für die industrielle Herstellung von Lehm-Passivhäusern zu entwickeln. Dies wurde nur zum Teil erreicht. Es konnten die Grundlinien eines solchen Konzepts entwickelt werden. Auf externe Ausrüstungsberater konnte in diesem Stadium noch kaum zurückgegriffen werden, da die technische Detailentwicklung der Fertigungsschritte nicht möglich war.

Das gilt auch für die geplante Entwicklung eines Logistikkonzeptes, welches für eine kostengünstige Produktion von größter Bedeutung ist. Für diesen Teil wurde Recherchen bei ähnlichen Produktionssituationen und Logistikanbietern gemacht und auch externe Expertise herangezogen.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Das durchgeführte Projekt hat in der Entwicklung der Werkstoffe, der Zusammensetzung der Komponenten für eine industrielle Verarbeitbarkeit die Zielsetzung in weiten Teilen erfüllt. Die konzeptionelle Planung für einen gesamten industriellen Produktionsprozess konnte im abgeschlossenen Projekt nicht erreicht werden. Für den Rohstoff Stroh konnte eine Aufbereitung entwickelt werden, die großteils beim Rohstofflieferanten (lokale Landwirte) stattfinden kann. Die Landwirte verarbeiten das Stroh auf gewünschte, gehäckselte Größe und liefern es entstaubt ins Werk, wo die Einbringung in die Dämmebene der vorgefertigten Wand- und Deckenelemente erfolgt. Die erwartete Einbringtechnik in industrieller Form zu entwickeln konnte leider nicht erreicht werden, da die Verarbeitungsanlagentechnik für den Häcksels aufgrund unerwarteter Wärmeleitfähigkeitsverschiebungen geändert werden musste. In diesem Bereich gab es einige Überraschungen in den Zwischenergebnissen, zusätzliche Entwicklungsschritte mussten eingeplant werden. Erfreulich dabei ist der erzielte Wärmeleitfähigkeitswert der Strohhäckselämmung mit  $0,042\text{W/m}^2\text{K}$ . Die daraus resultierende Verarbeitungsanlage wird in einem Folgeprojekt vorbereitet, das die industrielle Werksfertigung des entwickelten Strohhäcksel zum Ziel hat. Die Entwicklung der Lehmbeschichtung konnte erfolgreich bis zur Produktionsplanung abgeschlossen werden. Für eine tatsächliche Umsetzung fehlen jedoch die Ergebnisse des vorangegangenen Produktionsprozesses, der Strohhäckselämmung. Mit dem vorliegenden Forschungsergebnis ist eine teilautomatisierte industrielle Produktion durchführbar und teilweise auch schon umgesetzt. Teilergebnisse sind in die laufende manuelle Produktion eingeflossen und konnten bereits im Echtbetrieb auf ihre Alltagstauglichkeit überprüft werden. Abgeleitete Verbesserungsvorschläge aus der Praxis wurden in die laufenden F&E - Arbeiten eingebunden.

## **Ausblick**

Mit dem abgeschlossenen Forschungsergebnis kann die LOPAS AG ihren Nischenmarkt, der Herstellung von ökologischen Passivhäusern, im Bereich des Einfamilienhausbaus gut abdecken. Die bauphysikalischen Forschungsergebnisse gewährleisten bei richtiger Verarbeitung der Baustoffe einen hohen Qualitätsstandard der Bausubstanz. Für einen breiteren Markt im Geschloßwohnbau, oder die Errichtung von Reihenanlagen müsste der industrielle Verarbeitungsanteil jedoch wesentlich höher sein. Der durch das Forschungsprojekt erreichte Fertigungsgrad ist für den preissensiblen Wohnbau noch nicht ausreichend. Die Ergebnisse lassen jedoch eine Weiterentwicklung durchaus erwarten, ein Folgeprojekt wurde inzwischen auch schon gestartet. Das Marktpotenzial für ökologische Alternativen zum konventionellen Wohnbau ist jedenfalls gegeben. Neben der lohnintensiven Herstellung, die einen breiten Marktzugang erschwert, fehlen Lenkungseffekte in der Gesetzgebung. Die Wohnbauförderung in den einzelnen Bundesländern nimmt derzeit leider noch keine Rücksicht auf die Problematik der Herstellungsenergie und der Entsorgung der jeweiligen Bausubstanz. Anfragen aus Dänemark, Norwegen und Schweden lassen vermuten, dass der Umgang mit den treibhauswirksamen Einflüssen in den nordischen Ländern Europas weiter fortgeschritten ist und in weiterer Folge für LOPAS ein interessanter Markt entstehen kann.

# Abstract

## Starting point/Motivation

Along the HdZ (House Of The Future) R&D projects „Bauteilentwicklung“ (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id4503> ) and „Demonstrationsbau Lehm-Passivhaus Tattendorf“ (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5178> ) a high efficient ecological construction system was developed successfully up to advanced state of prototype.

LOPAS AG planned to implement this construction system by building an industrial production environment at Dobersberg in Austria.

Regarding sustainability (climate protection, efficient use of resources, production without waste) clay and straw are ideal building materials and being practically renewable raw materials and are available in huge dimensions locally. Combining the heavy mineral building material clay (Biofaserlehm / Biofibre-Clay) with modern wood frame constructions and insulation from straw is optimal. It is shown as results of the monitoring project of AEE-INTEC (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id4844> ).

However the combination of these three building materials, which are sustainable and in large quantities available cannot be integrated in current industrial production processes for prefabricated houses in a cost efficient way. On the one hand there is a need for development and optimization of new and modified manufacturing technologies adjusted to the characteristics of the materials and on the other hand there is a need for adjusted construction components. The present-day available manufacturing technology is fully optimized for the use of (predominantly gypsum material) panel-sized building materials.

The ecological food print as a standard of comparison measured by figures of OI3 life cycle analysis.

The demonstration project „LPH (Clay-Passive House) Tattendorf“ has shown that ecological food print is six times smaller than a conventional solid construction at the same level of heating performance. Surprisingly the food print of the building technique used in Tattendorf was even less than half in size by eco balance figures (OI3) compared to second ranked ecological demonstration project. Even though it was a similar ecological building project.

### **Thesis on sustainability:**

**Passive house concepts cannot be called “sustainable” and “climate-neutral” till then “grey energy” of construction materials is reduced like in the present ecological building concept.**

## Contents and Objectives

Building of 1 to1 prefabricated wood frame construction elements for testing straw insulation and applying (Biofibre) clay plaster coatings:

### Straw as building material:

Until now using straw bales of any kind in an industrial production environment is caused by economical disadvantages. Cost savings from raw materials were exceeded by higher labor costs. Therefore in the present project chipped straw instead of straw bales was used. This depicts a substantial change compared with the straw bale insulated prototype building of LPH Tattendorf. Supported by design models industrial technologies for manufacturing chipped straw under consideration of the compression set should be developed. In addition high resistance against fire and common particular structural-physical characteristics of this material has been reached.

### Clay as building material:

Applying of clay plaster is a state of the art technology. But efficient drying during the production process and optimization of the compounding of materials in an efficient course of the production process has been developed.

Savings on environmental load by construction with organic building material is approximately as big as the environmental load of heating a passive house by natural gas for 130 years.

The objective of the present project was an industrial implementation of such a sustainable ecological design for passive house building.

## Methods

The intended development of an industrial assembly of passive houses was managed in two stages. During the first stage different materials and production technologies were developed and their applications were tested. For this purpose small construction models with different wall thicknesses and sizes were built. Different technologies of manipulating chipped straw into the construction were developed and tested on such small construction models.

Chosen technologies were further developed and tested on full size wall construction models. Substructures for the biofibre-clay coating had to be constructed. For this purpose it was necessary to research a wide assortment of materials supported by usability tests. For suitable materials different technologies of production were developed. Along the first test-layout the coating with clay was done by conventional plaster spaying machines. Production technologies were developed to maturity phase on full size wall construction models. The first stage was successfully finished with a variety of tests on drying of the biofibre-clay coatings. In the second stage the requirements which were detected in the first stage were the basic for the preparation of realization the industrial production process. Research of suppliers of industrial equipment was difficult because combined industrial processing of wood, straw and clay calls for an entire new type of production. The objective was to develop

a finished first draft for industrial production of prefabricated clay-passive houses. This could be realized only partially. The baselines of such a first draft could be developed. At this stage involving external consultants for developing industrial production was not practicable because many details for manufacturing steps was not finished.

That is also essential for planned development of a logistic concept. For this part enquiries at companies with similar types of productions and suppliers of logistics were done. External expertise on this specific field was addressed too.

## **Results**

The implemented project has met its objectives by far in development of construction materials and in compounding of components for industrial workability. The conceptual planning of a whole industrial production process could not be finished. For straw as a raw material a way of processing was developed which can be done at the site of the local supplier (local farmer). The farmers process the straw to the desired chipped size and after removing dust deliver it to the plant where it is manipulated into the space between horizontal and vertical members of the timber frame construction as insulating infill of the prefabricated wall and ceiling elements. The originally expected technology of manipulating straw could not be realized because the technology of processing the chipped straw had to be changed due to unanticipated variances in thermal conductivity behavior.

In this range there were some surprises at the intermediary results. Additional steps of tests had to be integrated into the project. The realized calculated value of thermal conductivity of the insulation with chipped straw of  $0,042\text{W/m}^2\text{K}$  was gratifying. The processing plant based on these results will be prepared in a following R&D project which aims industrial production in the factory site. The development of the clay coating process was successfully finished until to the state of planning the production process. To realize the results of clay coating production process for the insulation with straw has to be finalized. With the existing result of research a partially atomized production process is feasible and partly realized. Partial results were integrated into current manual production and were proved on suitability in everyday production.

Proposals for improvements reflected by practical experience were integrated into current R&D activity.

## **Prospects / Suggestions for future research**

Having completed the results of research LOPAS can cover well a market niche, the manufacturing of ecological passive houses in the range of single home dwellings. The results of research in building physics and appropriate processing assure a high level of quality of the built volumes. For a wider market in multi-storey dwellings or for row housing the proportion of industrial production processes in whole production process had to be considerably higher. The degree of mechanization achieved by this R&D project is not enough for residential building sensitive to price. But the findings are promising for further

developments. A subsequent R&D project was started in the meantime. Market potential for ecological alternatives to conventional housing is huge. Besides production with high labour costs which aggravates a broader access to the market, guiding effects of legislation are missing. Unfortunately at present stage subsidies of residential building in the different Austrian federal countries does not consider energy consumption of production process and waste management of particular built volumes. Enquiries from Denmark, Norway and Sweden let presume that sensitive to climate is more advanced in the Nordic countries of Europe. As a consequence of this market enlargement for LOPAS can be focused at these countries.



# 1. Einleitung

## Projektbericht LPH Optimierung

### 1.1 Ablauf des Vorhabens

Die angestrebte Entwicklung einer industriellen Fertigung von Lehm-Passivhäusern bestand aus zwei Abschnitten.

#### 1.1.1 Baustoffentwicklung

In der ersten Phase wurden unterschiedliche Materialien und Fertigungstechniken entwickelt und in ihrer Umsetzung erprobt. Zu diesem Zweck wurden Kleinmodelle in unterschiedlichen Wandstärken und Größen hergestellt. Bei den Kleinmodellen wurden verschiedene Techniken der Strohhackseleinbringung entwickelt und erprobt. Die geeigneten Techniken wurden an den 1:1 Wandmodelle weiterentwickelt und erprobt.

Für die Lehmbaustoffschicht waren effizient zu produzierende Unterkonstruktionen zu entwickeln. Dafür war es notwendig ein breites Angebot an Materialien zu recherchieren und auf Tauglichkeit zu prüfen. Für taugliche Materialien wurden verschiedenen Fertigungsmethoden entwickelt und erprobt.

Die Fertigung wurde im engen Zusammenhang mit der Beschichtung der Lehmbaustoffe entwickelt. Die Beschichtung wurde in den frühen Testvarianten noch mit herkömmlichen Putzmaschinen realisiert. Die Fertigungsmethoden wurden an den 1:1 Wandmodellen zur Vor-Serienreife entwickelt.

Die Entwicklung einer zumindest teilautomatisierten Beschichtung mit Lehmbaustoff (Biofaserlehm) erwies sich als schwieriger und zeitaufwändiger als angenommen. Mit den verschiedenen Trocknungsversuchen von Lehmbaustoffschichten war die Phase 1 abgeschlossen.

#### 1.1.2. Industrielle Verarbeitung

Im Abschnitt zwei mündeten die Anforderungen, welche in der Phase 1 ermittelt wurden, in die Vorbereitung der industriellen Umsetzung.

Das Ziel war ein fertiges Produktionskonzept für die industrielle Herstellung von strohgedämmten Lehm-Passivhäusern zu entwickeln.

Die Recherche von Ausrüstungsanbietern ergab, dass weder vorhandene Fertigungstechnologien aus der Leichtbau – Fertigerteiltechnik mit Plattenwerkstoffen, noch Technologien aus der Betonfertigerteiltechnik, einsetzbar sind.

In dem Maße, wie sich die Anforderungen einer effizienten industriellen Fertigung auf Basis der diesem Zusammenhang völlig neuartigen Werkstoffe Strohhäcksel und Lehmbaustoff langsam konkretisierten, zeigte sich, dass nur Basiskomponenten aus der Maschinenbauindustrie verwendbar sein würden. Die Recherchen ergaben immerhin ein gutes Bild der Verfügbarkeit solcher Komponenten. Aber das komplexe Produktionsverfahren für Lopas-Fertigteile musste Schritt für Schritt entwickelt werden.

### **Strohhäcksel-Dämmung:**

Beim Einsatz von Strohhäcksel als Dämmstoff stellte sich unerwartet heraus, dass beim Feuchteverhalten und den Dämmeigenschaften bis in die Grundlagenforschung gegangen werden musste, denn Stroh in Form von Strohhäcksel zeigte gegenüber Stroh in Form der bisher bereits relativ gut wissenschaftlich untersuchten Strohballendämmung z.T. deutlich abweichende Eigenschaften.

Die notwendigen umfangreichen Laboruntersuchungen für die Europäische technische Zulassung als Dämmstoff ergaben unter anderem, dass mit geeigneter Einbringtechnik in der Vorfertigung günstigere Dämmeigenschaften als bei Strohballendämmungen erzielbar sind.

Deshalb wurde eine Reihe von Einbringungsvarianten für Strohhäcksel aufwändig und über einige Zeit mit unbefriedigendem Ergebnis an 1:1 Modellen getestet, bis eine Variante gefunden wurde, die alle Anforderungen an einen passivhaustauglichen und industriell effizient verarbeitbaren Dämmstoff erfüllte.

Auf die durch den Projektpartner GEKO bearbeiteten und getesteten Varianten einer Stabilisierung des Strohhäcksel durch Zusatz von chemischen Bindemitteln oder Stützfasern konnte aus diesem Grund verzichtet werden. Das war ein Vorteil, denn derartige Stabilisierungsmaßnahmen hätten die Herstellungskosten erhöht und auch andere negative Auswirkungen erwarten lassen.

Somit konnte im Rahmen des Projekts die Voraussetzung für die Erlangung der Europäischen Technischen Zulassung ETZ für die Lopas-Strohhäcksel-Dämmung in den Lopas Passivhaus – Fertigteilen erarbeitet werden.

### **Biofaserlehm-Beschichtung:**

Beim Lehmbaustoff war es ähnlich. Die Verwendung von industriellen Fertighmputzen, aufgebracht mit üblichen Hmputzmaschinen, konnte bald nach Projektbeginn durch rationellere Beschichtungstechnik ersetzt werden. Für diesen Einsatzzweck wurden speziell

zusammengesetzte Biofaserlehm-Mischungen entwickelt. Die Zusammensetzung entspricht den Lehmbauregeln des Dachverbands Lehm.

Die Gesamt -Beschichtungsstärke der Innenseite der Außenwände wurde auf 45 mm erhöht, um eine Stärke der Installationsebene zu erreichen mit der in der Vorfertigung alle üblichen Installationen rationell untergebracht werden können. Beim anschließenden Beschichten werden die Installationen praktisch eingegossen, was z.B. für Ausführungen mit Wandheizungsregistern eine kostengünstige Lösung ist. Auch Zwischenwände mit Biofaserlehm-Beschichtung wurden bereits ausgeführt.

Die technischen Möglichkeiten für eine wirtschaftliche Produktion der Lehmbeschichtung aus lokalen Rohstoffen im Werk Dobersberg als Alternative zum derzeitigen Einsatz von transportkostenintensiver Fertighlehmischung wurden untersucht. Ab einer bestimmten Jahresproduktion wäre diese Variante mit Investition in eine Aufbereitungsanlage kostengünstiger. Weiters ergab sich eine neue Perspektive einer wirtschaftlichen Substitutionsmöglichkeit der bisherigen Zwischenwandkonstruktionen in Ständerbauweise mit Gipswerkstoffplatten oder Lehmverputz durch eine neuartige Lehmbautechnik.

Die Produktion der 1:1-Modelle der Fertigteile erfolgte auf niedrigem technischen Niveau, zwar mit allen im neuen Werkhallenteil in Dobersberg zur Verfügung stehenden Ausrüstungen, wie Portalkran, Lader, Mischer, etc., aber weitgehend manuell. So konnte andererseits aber sehr flexibel auf die identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten im technischen Prozess reagiert werden.

Auf Basis der Definition der so optimierten einzelnen Arbeitsschritte könnte nun die Entwicklung der Produktionsanlagen für einzelne Prozessschritte aus der Kette Materialbereitstellung / Holzbau / Dämmung / Vorinstallation / Beschichtung / Trocknung / Versandbereit-Stellung erfolgen.

Auf externe Ausrüstungsberater konnte daher auch in dieser zweiten Phase noch nicht wie erhofft zurückgegriffen werden. Daher ließ sich auch die Basis für die Entwicklung eines Logistikkonzeptes, welches für eine kostengünstige Produktion von größter Bedeutung ist, noch nicht herstellen.

## **2. Hintergrundinformation**

Der vorliegende Bericht ist nach den beantragten Arbeitspaketen gegliedert.

### **2.1 Entwicklung und Versuchsreihen von Verarbeitungsmethoden unterschiedlicher Materialien an vorgefertigten Kleinmodellen**

#### **2.1.1 Anforderungen an Unterkonstruktionsvarianten**

Zielsetzung des Projekts war die strohgedämmten Riegelwände mit einer baubiologisch einwandfreien Lehmputzschicht bereits im Werk fertigen zu können. Als erstes wurde versucht die technisch notwendige Trockenzeit von Lehmputzdicken von mehreren cm unter den Bedingungen der Vorfertigung zu ermitteln. Die massive Unterputzebene der Lehmbeschichtung sollte gleichzeitig als Installationsebene dienen. Weiteres Ziel war, dass auch die Strohdämmung ohne chemische Zusätze setzungssicher und dennoch wirtschaftlich herstellbar sein sollte.

Großes Augenmerk wurde vor allem der Gefahr von eventuellen Schäden an den vorgefertigten Elementen bei langen Transportdistanzen geschenkt. Eine besondere Herausforderung war es den Wert der zuverlässig setzungssicheren Dichte für die Strohdämmung zu bestimmen, samt der Qualitätssicherungsmaßnahmen dazu, da es keinen Spielraum für irreversible Fehler geben durfte.

Nachdem man in diesem Bereich ausreichend technischen Fortschritt gemacht hatte der einem standardisierten Aufbau nahe kam, entschloss man sich zu einem Kleinbrandversuch an der Versuchsanstalt der MA 39.in Wien.

Da dieser Brandversuch sehr erfolgreich absolviert wurde, wurde beschlossen einen Großbrandversuch durchzuführen. Dieser wurde nach 96 Minuten mit Erfolg beendet. Der Wandaufbau wurde von der Versuchsanstalt der Stadt Wien, der MA 39 mit REI 90 unter Last nach EU-Standard zertifiziert. Dies war ein wichtiger Meilenstein des Projekts.

#### **2.1.2 Entwickeln verschiedener Unterkonstruktionsvarianten**

Es wurden zunächst drei Unterkonstruktionsvarianten für die Wandelemente aufgrund der Erfahrungen aus den Labor- und Kleinmodellen entwickelt, als Vorbereitung für einen geplanten zweiten Großbrandtest, sowie für die Anmeldung eines definitiven Aufbaus zum Patent.

Die drei Modell-Varianten wurden im Werk Dobersberg gebaut, um die praktische Funktionalität in Bezug auf die Fertigteilproduktion zu sehen. Diskutiert und überprüft wurde der statische Unterschied der Tragfähigkeit und der Funktion als aussteifende Scheibe des jeweiligen Aufbaus.

### **2.1.3 Verklebung von Flachsvlies auf Holzuntergründen:**

Das Flachsvlies erfüllt im Baukonzept zwei Funktionen, nämlich einerseits die mechanische Sicherung gegen das Ablösen der feuchten Lehm-Grundsicht beim Trocknen nach dem Aufrichten und Absetzen des Bauteils in der vertikalen Trocknungsposition und andererseits stellt sie als Lehm-Vlies Verbundschicht eine luftdichte Ebene her.

In der Variante, in der bei der sich sowohl auf der Innenseite als auch auf der Außenseite der Holzrahmenkonstruktion eine Rauschalung befindet, wie im Prototyp im Lehm-Passivhaus Tattendorf bzw. im Lopas Wandaufbau H 55 plus ist die Lehm-Vliesschicht die alleinige Luftdichtheitsebene bzw. Winddichtheitsebene des Passivhauses. Bei den anderen entwickelten Lopas-Wandaufbauvarianten mit Holzwerkstoffplatten an einer oder an beiden Seiten der Tragkonstruktion erfüllt die Lehm-Vlies Schicht nur eine zusätzliche Funktion als Sicherheitsebene in Bezug auf passivhauskonforme Luftdichtheit.

Die Versuche zum Verkleben von Flachsvlies erfolgten auf unterschiedlichen Holzuntergründen. Ein bauökologischer Vergleich von angebotenen Klebern verschiedener Anbieter für die Vlies-Verklebung wurde durchgeführt und das geeignetste Produkt ausgewählt. Ein Kleber, der auch im Bereich Lebensmittelverpackungen eingesetzt wird, erfüllte die technische Aufgabe zufriedenstellend und war als lebensmittelechtes Produkt hier baubiologisch nahezu eine Ideallösung.

Der Vorteil der Lehm-Vlies Technik ist, dass die Verbundschicht von Lehmputz und Vlies als alleinige Barriere auch bei kleinen Rissen noch ausreichend luftdicht bleibt. Ein Riss, der aus irgendeinem Grund während der Lebensdauer eines Gebäudes auftritt, wird aber normalerweise ohnehin umgehend saniert und dadurch luftdicht mit Biofaserlehm verschlossen.

### **2.1.4 Brandwiderstandstests mit Kleinmodellen / Kleinbrandmodellbau**

In Abstimmung mit einem Lehmputz-Fachverarbeitungsbetrieb wurden zwei Konstruktionsvarianten ausgewählt. Speziell wurden zwei Kleinbrandtest-Varianten gewählt, um Erkenntnisse über Notwendigkeit und Effekt einer Stabilisierung der Strohhäckseldämmschicht hinsichtlich des Brandverhaltens zu gewinnen.

Die Kleinbrandmodelle BK 1 und BK 2 wurden danach gebaut und mit diesen in der Prüfanstalt der MA 39 in Wien aufschlussreiche und erfolgversprechende Kleinbrandtests durchgeführt.

Zusammenfassend kann zum Brandverhalten der Kleinbrandmodelle Folgendes gesagt werden:

Im Brandverhalten war kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Kleinbrandmodellen erkennbar. Die in beiden Versuchen erreichten Feuerwiderstandszeiten von 190 bzw. 210 Minuten lagen also weit über den Anforderungen der Praxis. Der Biofaserlehm besitzt hervorragende Brandschutzeigenschaften. Die organischen Komponenten erhalten wegen der Luftdichtheit des Lehms keine Sauerstoffzufuhr und verkohlen daher nur langsam. Die versuchsweise chemische Stabilisierung des Strohhäcksels in einem der beiden Modelle erbrachte tendenziell, aber nicht eindeutig, beim Modell BK 2 mit Wasserglas- Imprägnierung des Strohhäcksels einen geringfügig weiter verbesserten Brandwiderstand, der aber in keinem Verhältnis zum dafür höheren Herstellungsaufwand und den erwarteten Nachteilen einer Stabilisierung steht.

Darüber hinaus konnten konkrete Ergebnisse zum Brandverhalten der einzelnen Komponenten des Wandaufbaus gewonnen werden, die Grundlage für die Konstruktion und Dimensionierung der nachfolgenden 1:1-Großbrandversuche im Juli 2009 und 2011 bildeten.

## **2.2 Entwicklung und Herstellung von 1 : 1 Wandmodellen mit unterschiedlichen Wandöffnungssituationen**

Ein hoch gestecktes Ziel war das Erreichen des Brandwiderstandes REI 120 unter Last mit LOPAS Leichtbauwänden. Hierzu wurden auch Überlegungen angestellt, die tragenden Riegel in abgeänderter Form und in geänderter Dimension einzubauen, um im Brandfall höhere zulässige Auflasten mit den Wänden abtragen zu können. Diese Konstruktionsvariante zielt auf die Möglichkeit des Bauens von viergeschossigen Gebäuden ab. Im Projektverlauf wurde REI 90 unter Last erreicht; die Weiterentwicklung auf REI120 musste aufgeschoben werden.

Im Mai 2009 wurden 1:1-Wandmodelle mit verschiedenen Putzträger-Varianten im Werk Dobersberg gebaut, einerseits hinsichtlich Optimierung des Brandwiderstands und andererseits um eine möglichst rationelle Fertigung und Montage der Fertigteile zu ermöglichen und den Aufwand für die Endbeschichtung mit der Feinputzschicht nach der Montage auf der Baustelle möglichst gering zu halten.

Unter anderem gelang ein kleiner, aber fertigungstechnisch wichtiger Nachweis an diesen ersten 1:1-Modellen. Es zeigte sich, dass es technisch möglich ist, Wandelemente mit Biofaserlehm im maschinellen Spritzverfahren dick zu beschichten und anschließend versuchsweise sogar über unebenes Betonpflaster zu einer Trocknungsstation zu transportieren, ohne dass sich die mörtelplastische Faserlehmschicht übermäßig verformte. In einer industriellen Fertigung würden solche internen Transporte ohnehin ohne solche kritischen „Rüttelstrecken“ verlaufen. Daher konnte auch erwartet werden, dass es ebenso möglich wäre, ein liegend beschichtetes Fertigteil in die Vertikale zu kippen und ebenso in dieser Lage weiter auf eine andere Position zu transportieren.

Damit war eine Erkenntnis für weitere Optimierungsschritte und für mögliche Varianten einer künftigen industriellen Fertigung gesichert.

### **2.2.1 Erste Brandwiderstandsprüfung mit 1:1-Wandmodell**

#### Bau u. Einbauvorbereitungen:

Ein 1;1 Wandmodell als Fertigteil mit 300 x 328 cm Größe wurde im Werk gebaut und nach Wien zur Prüfstelle der MA 39 transportiert. Die Auflast wird normgemäß über einen I-Träger eingebracht. Die Konstruktion wurde mit Holzforschung Austria besprochen; und die einschlägige ÖNORM EN 13651 berücksichtigt.

#### Details:

Für die umlaufenden Fugen werden brandbeständige Steinwolle und brennkammerseitig auf Drahtgeflecht kaschierte Steinwollestreifen für den Einbau verwendet. Die innere Biofaserlehmschicht wurde im Bodenbereich eingemörtelt.

Der Einbau von 2 brandgeprüften aufquellenden Steckdosen unterschiedlicher Hersteller erfolgte im unteren Bereich des Wandelements.

Wandheizungsregister wurden in diesem ersten Brandversuch noch nicht eingebaut, das sollte erst in einem weiteren Versuch für höher belastete Wände erfolgen.

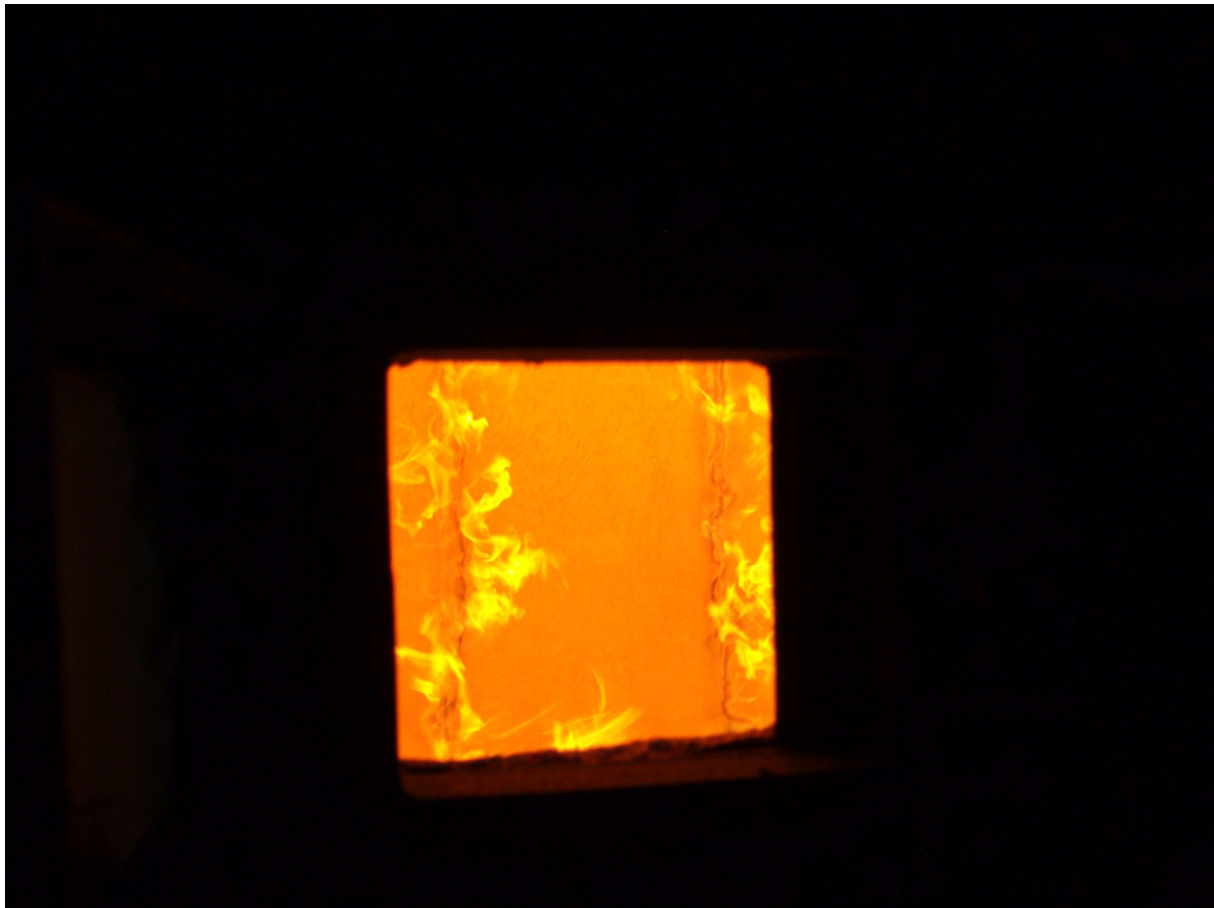


(Foto 1: Die Außenseite des in die Brennkammer eingebauten Testmodells mit den Temperaturfühlern (mit weißen Klebstreifen befestigt)

### **Ergebnisse des Brandversuchs am 6.7.09:**

Bereits nach wenigen Minuten traten vereinzelt und unerwartet erste vertikale Risse bei den Putzleisten der Biofaserlehmbeschichtung auf.





(Foto 2, Blick in die Brennkammer; Flammenzungen bei Leisten im Lehmputz)

Die Putzträgerleisten erwiesen sich überraschend als eine gravierende Schwachstelle (s. Foto 2 oben). Da diese aber für das Verputzen oder Beschichten nicht unbedingt erforderlich sind, werden sie künftig eliminiert. Diese Detail-Änderung würde den bewiesenen guten Brandwiderstand (REI 90) vermutlich weiter steigern lassen.

In den folgenden fast eineinhalb Stunden bis zur 88 Minute blieb die Situation trotz Brennraumtemperaturen über 1000 Grad an der inneren Biofaserlehmseite praktisch unverändert. Nach 96 Min, also kurz nach Erreichung der geplanten Feuerwiderstandsdauer wurde der Versuch abgebrochen, denn die belastete Wand begann sich etwas nach außen zu biegen.

#### Ergebnisse der Demontage:

Das Zustandsbild der Widerstandsfähigkeit des Wandelements war sehr gut. Die Strohhäckselämmung war sogar setzungsfrei erhalten geblieben!

Die tragende Holzkonstruktion war natürlich an mehreren Stellen angegriffen und angekohlt, aber über die 90 Minuten Branddauer tragfähig geblieben. Die E-Dosen brannten durch, aber ohne damit große Probleme zu verursachen (s. Foto 3, rechts unten Dosenreste im gebrannten Biofaserlehm). Alle E-Leitungen in der Biofaserlehm-Installationsebene sind im Brandverhalten unauffällig geblieben.



(Foto 3, Innenseite der Wand nach Ende des Brandtests; der Lehm ist zu Keramik gebrannt)

#### Ergebnisse hinsichtlich Optimierung der Biofaserlehmschicht als primäre Brandwiderstandszone:

Das 1:1 Modell bestand den Brandtest zwar auf Anhieb, aber der Feuerwiderstand der im Vorversuch getesteten Kleinmodelle war mit bis über 210 Min. noch weit höher. Das kann als Indiz gewertet werden, dass das Brandsicherheits-Potential dieser Konstruktion signifikant höher ist als es dieser erste 1:1 Versuch belegt. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden an der weiteren Verbesserung der Putzträgerkonstruktion gearbeitet.

Für den 2. Großbrandversuch wurden in der Folge Plankonzepte erstellt, Grobskizzen und Vorbemessungen für diese Wände angefertigt. Es wurden von den Projektpartnern auch Überlegungen in konstruktiver Hinsicht angestellt, ob das System der Wandelemente im Konstruktionsprinzip 1:1 auf Dach bzw. Deckenelemente übertragen werden kann.

## **2.2.2 Zweiter Brandversuch im Juli 2011 bei MA 39 mit einem Deckenelement unter Last**

Testbeginn in MA 39 Deckenelement; die Stopffugen sind dicht. Auf diesem Prüfstand gibt es leider kein Sichtfenster für Beobachtungen während der Prüfung, wie beim Wand-Prüfstand. 30 Minuten Feuerwiderstandsdauer unter Last wurde erreicht und damit die Minimalanforderung erfüllt. Kurze Zeit später kommt es unerwartet zum teilweisen Versagen der inneren Beplankung samt Putzschicht. Der Versuch muss daher abgebrochen werden, obwohl die Tragkonstruktion zu dem Zeitpunkt noch kaum angekohlt ist.

Die Ursache für dieses Erreichen von lediglich REI 30 unter Last wird in der Ausbildung der Armierung gefunden. Für das Erreichen einer geplanten wesentlich höheren Feuerwiderstandsdauer ist eine Konstruktionsänderung der Putzträgerebene erforderlich. Diese neue Konstruktion muss jedoch in einem Kleinbrandtest neuerlich geprüft werden, bevor ein zweiter 1:1-Versuch anberaumt wird.

## **2.2.3 Patentanmeldung**

Das Projektteam erstellte in Kooperation mit einem Patentanwalt auf Basis der bisher entwickelten Konstruktionsdetails einen Patententwurf für die Gebäudehülle, der im Februar 2010 angemeldet wurde.

Die Einbeziehung der neuesten Entwicklungen und Erkenntnisse hatte eine Verschiebung der Anmeldung, die ursprünglich für Ende 2009 geplant war, notwendig gemacht. Die entwickelte Technik der Strohhackseleinbringung, die es ermöglicht ohne zusätzliche chemische Stabilisierung auszukommen, war eine der wesentlichen patentrelevanten Neuheiten des Entwurfs. (PATENT Nr. 11154683.4 - 1255).

## **2.3. Entwicklung einer rationellen und industriellen Einbringung von Strohdämmung inkl. Herstellung von Prototypen**

### **2.3.1 Detailentwicklung Strohhäckseldämmung mit Stabilisierung**

Für die Entwicklung der Einbringung war der Projektpartner GEKO federführend. Geko beurteilte die Ausgangssituation zu Projektbeginn folgendermaßen:

Die beim Start vorhandene Strohdämmung ließ sich nicht definiert und reproduzierbar in Wand-Gefache einbringen. Zudem war die Setzungssicherheit nicht gegeben. Um über diesen unbefriedigenden Status hinweg zu kommen, war eine Verarbeitungstechnik zum mechanisierten Einsatz zu entwickeln. Das Einblasverhalten der Strohhäckseldämmung war anhand der verschiedenen Düsentypen zu ermitteln. Eine Abschätzung ob mit Klebstoffen oder mit Stützfasern eine Verbesserung der Einbringverfahren erreichbar wäre, war ebenfalls durchzuführen.

An standardisierten 1:1-Wandmodellen wurden Einblasversuche mit Versuchsdüsen durchgeführt. Die ersten Ergebnisse waren unbefriedigend. Die Einblasversuche lieferten nicht die gewünschte Reproduzierbarkeit. Es zeigte sich, dass eine effiziente Verklebung der Halme wegen der natürlichen Wachsschicht auf Stroh nicht ohne Vorbehandlung möglich sein dürfte, da der benötigte Klebstoffanteil sonst zu groß würde.

Über Anfrage beim Institut für Getreideverarbeitung (IGV) wurde recherchiert, ob eine Aufspaltung der Strohfaser mittels geeigneter Mühlen-Technik die Benetzbarkeit zum Verkleben und die Eigenabstützung verstärken würde.

#### Herausforderungen bei dieser Entwicklung:

Zerkleinertes Stroh zeigt als Dämmstoff in der Regel ein ausgeprägtes Setzungsverhalten. Dieses begründet sich in der Struktur der Fasern und in der Länge der Teilstücke, aus denen das zerkleinerte Stroh besteht. Es wird z.Z. in handelsüblichen Häckslern oder in Hammermühlen hergestellt und ist so verfügbar. Die erwähnte Wachsschicht behindert eine herkömmliche Verklebung, dürfte aber auch den Setzungseffekt begünstigen.

#### Erste Ergebnisse:

Für die Einblasversuche wurde eine Einblasmaschine umgerüstet und für Versuche bereitgestellt. Für die Ermittlung des Einblasverhaltens wurden Einblasdüsen mit verschiedenen Umlenkungen und Durchmessern zur manuellen Handhabung hergestellt. Die Einblasversuche wurden mit dem von einem Zulieferer in Dobersberg verfügbaren Strohhäcksel durchgeführt.

### Ausgangslage der Problematik des Einblasens von Strohhäckseldämmung:

Das Einblasen der Strohdämmung bringt den Vorteil von wesentlich angenehmeren Arbeitsbedingungen in Folge geringerer Staubbelastung als offene Einbringungstechniken. Auch der wirtschaftliche Vorteil wäre beträchtlich wenn sich der Häcksel wie andere bekannte Dämmstoffe einblasen ließe.

Als Nachteil war zu befürchten, dass man das Stroh nur in unzureichender Dichte einbringen könnte, was sowohl beim Setzungs- wie auch beim Brandverhalten problematisch wäre. Als dritten Faktor war der durch die Einblastechnik erzielbare U-Wert für den Wandaufbau zu ermitteln. Hier würde man dann auch die Auswirkungen der Einblastechnik auf die Erreichung eines wirtschaftlichen Passivhaus-Wandaufbaus sehen.

Grundsätzlich erwartete sich die Projektgruppe einen etwas günstigeren Wärmedurchgangswiderstand für die zu entwickelnde Strohhäckseldämmung als ihn die bisherige Literatur für Ballenstroh angibt.

### **2.3.2 Strohhäcksel Einblasversuche**

#### Erster Einblasversuch

Die Einblasversuche wurden unter Mitwirkung eines Maschinenherstellers im Werk in Dobersberg durchgeführt. Bald ergab sich, dass die Fasern zu lang sind für eine auf Zellulosedämmung eingestellte Maschine. Der Schlauch verstopfte sich sehr oft. Die Lösung mit dem aufgeklebten Flachsvlies auf der äußeren, gelochten MFP – Platte funktionierte ausgezeichnet, da so die Staubentwicklung in der Halle damit kaum spürbar war. Es wurde vereinbart, dass die nächsten Versuche mit einem Verstärker unternommen werden und die Fa. Longin kleiner gehäckseltes Stroh bereitstellt.

#### Zweiter Einblasversuch

Diese Versuchsreihe erfolgte mit Kombination von Rütteln mit Einblasen. Der Versuch zeigte, dass es beim Stroh zu nachträglichen Setzungen kommt. Um dem entgegen zu wirken, wurde ein provisorisches Rüttelgestell gebaut, um die stehenden Wände während des Stroheinblasens von unten rütteln zu können. Der zusammengebaute Rütteltisch mit einer Länge von ca. 4,5m mit einer leeren Wand von ca. 17m<sup>2</sup> Fläche zeigte, dass die vorhandene Rüttelplattform möglicherweise zu schwach ist. Daher wurde vorbeugend nach stärkeren Rüttlern gesucht. Der Aufbau mit LKW-Reifen war nur provisorisch um Kosten zu sparen, bei einer erfolgreichen Testphase wäre je nach Kosten auf Stahlfedern umgestellt worden. Wenn die LKW-Reifen aber lange standhalten könnten auch diese verwendet werden, obwohl sie stark dämpfend wirken.

Beim Stroheinblasversuch mit dem Rütteltisch zeigte sich, dass der Rüttler zu schwach ist. Das Gestell wurde umgebaut, die LKW-Reifen durch starre Hölzer ersetzt. Dadurch konnte viel stärker gerüttelt werden. Leider ist der Lärm dadurch um ein Vielfaches gestiegen.

Weiters zeigte sich, dass gegen Ende des Füllvorgangs der Wände der Rüttler trotzdem zu schwach wird. Durch mehrmaliges Wegschalten des Materialflusses und nur mit Luft ausblasen konnte dieser Nachteil minimiert werden.

### Zwischenergebnis Einblasen

Ohne Verstärkung der handelsüblichen Einblasmaschinen kommt man nicht aus, ebenso ist es notwendig zu rütteln. Wichtig ist es, bei Hohlräumen, die weniger als 1,50 m Höhe haben, besonders sorgfältig auszublase. Ein großer Trichter als Vorbehälter für die Maschine wurde gebaut um schneller dämmen zu können. Das eingebrachte Gewicht blieb gleich, ob mit oder ohne Verstärker konstant bei ca. 100-130kg/m<sup>2</sup>. Es zeigte sich, dass bei niedrigen Hohlräumen z.B. unter Fenstern weniger (Dichte ca. 100kg/m<sup>3</sup>) und bei hohen Hohlräumen mehr Strohhäcksel eingebracht werden konnte. Wir sahen dies nicht als problematisch, da bei geringen Höhen die Gefahr von Setzungen wesentlich kleiner ist als bei großen Höhen.

### **2.3.3 Strohhäcksel Detailentwicklungen**

Die Problematik war in der Länge und dem Gewicht der einzelnen Strohdämmstoff-Stücke zu sehen, was dazu führte, dass Verwirbelungen, ähnlich wie bei leichten Dämmstoffflocken nicht ausreichend stattfanden.

Daher müssen die Faserstücke stark beschleunigt und so in die gewünschte Lage geschossen werden. Das läuft aber in einem größeren Hohlraum nicht mehr ausreichend gezielt ab. Stattdessen wurden durch die Einblasvorrichtung rotierende Wirbel erzeugt. Die Rotation des Dämmstoffstroms kam aber bei einem bestimmten Füllungsgrad des Hohlräume schlagartig zum Erliegen. Es bestand somit keine Möglichkeit durch Verdichten mittels des Einblasdruckes die notwendige Rohdichte zu erzeugen, oder hinreichend gleichmäßig zu beeinflussen.

Ein Hinweis darauf war die schon augenscheinlich erkennbare, unterschiedliche Verteilung der Rohdichte, die optisch häufig den Eindruck eines eingefrorenen Wirbels erkennen ließ. Positiv wirkte sich die Verstärkung der Düsenwirkung durch Düsen mit stärkerem Reduzierungsverhältnis aus. Damit verbunden war allerdings der Nachteil einer Verstopfung der Düse zum Ende des Einblasvorgangs. Die betroffenen Düsen konnten nicht wieder allein durch den Transportluftdruck angefahren werden.

### Verklebung:

Manuell ausgeführte Laborproben mit den üblichen Additiven, wie Stärke (spezielle, kalt extrudierte Roggenstärke) oder Kaliwasserglas hatten zu keinem positiven Ergebnis geführt. Die Verklebung konnte aufgrund der Wachsschicht auf der Außenseite der Strohfasern keine ausreichende Bindewirkung erzielen. Um eine ausreichende Verklebung herzustellen, mussten im Test inakzeptable Mengen von Additiven eingesetzt werden. Alternativen, wie Wachse wurden nicht getestet, da ein negativer Einfluss auf das Brandverhalten zu befürchten war.

### Stützfasern:

Aufgrund der erzielten Ergebnisse und der zu dieser Zeit zur Verfügung stehenden Dämmstoffmenge wurden keine Versuche mit Stützfasern gefahren. In der Diskussion der Projektgruppe war die Erwartung wegen der voraussichtlichen technischen Probleme beim homogenen Einmischen von Hanffasern in Strohhäcksel und wegen der Erhöhung der Kosten durch diesen Zusatzaufwand nicht positiv gewesen.

GEKO schlug nun folgende Möglichkeiten vor:

Es wäre zu prüfen ob Strohfasern sich durch eine einfache Mühlentechnik vorteilhaft auffasern ließen.

Als Auswirkung einer Auffaserung wurde Folgendes postuliert:

1. eine flockigere Faser, die besser verblasbar ist und eine mechanische Federwirkung aufweisen könnte, die sich positiv auf die mittels Einblasverfahren beeinflussbare Rohdichte auswirken kann.
2. die Gesamtoberfläche wird durch die Auffaserung erhöht. Der Anteil der nicht mit Wachs überzogenen Flächen wird wesentlich erhöht. Dadurch kann eine bessere Verklettung untereinander stattfinden und gegebenenfalls steht dem Klebstoff eine wachsfreie Benetzungsfläche zur Verfügung.

Die Dämmwirkung kann in der Regel durch feinere Fasern signifikant verbessert werden. Nachteil wäre gegebenenfalls eine größere Angriffsfläche im Brandfall. Hier ist der Zusatz von brandhemmenden Additiven denkbar. Diese könnten gleichzeitig die gewünschte Klebewirkung aufweisen. Es war weiterhin zu prüfen, ob eine entsprechende Technik zum Aufbereiten der Strohfasern direkt in die Einblasanlage integriert werden kann.

Das IGV wurde um Prüfung einer Strohaufbereitung gebeten und um ein Angebot über die Durchführung der Materialversuche.

Mit dem Vorliegen der Einschätzung des IGV war von GEKO mit LOPAS die weitere Vorgehensweise festzulegen.

### Einbringung von Klebstoffen

Die Einbringung von Klebstoffen wurde von der Projektleitung in der Folge wegen ungünstiger wirtschaftlicher und technischer Perspektiven zurückgestellt. Daher wurde nach Alternativen gesucht. Die Möglichkeit einer kombinierten Verarbeitungstechnik wurde konstruktiv bewertet und der Weg zur Absicherung des Verfahrens erarbeitet.

#### **2.3.4 Konzeptprüfung**

Um die gewünschte Verdichtung des Dämmstoffes herzustellen, wurden die Vorgehensweisen bei ähnlichen Vorhaben gesichtet und konzeptionell ausgewertet. Dabei wurden die Ähnlichkeiten zu bereits durchgeführten Realisierungen von Holzspäne-Dämmungen festgestellt. Es war zu prüfen, ob ein mechanisches Andruckverfahren erfolgversprechend ist.

Die Versuche zum Eindrucktest haben nachfolgend ergeben, dass eine Möglichkeit besteht den Dämmstoff nach dem Einbringen mechanisch zu verdichten. Eine Verdichtung über die Setzungsrohddichte hinaus führt zu einer nachfolgenden Entspannung im Rahmenbauteil. Dieser Effekt könnte für eine sichere Einbringung genutzt werden.

#### **2.3.5 Mahltechnik**

Da die Entscheidung gegen einen Prüfauftrag an die IGV (IGV GmbH, Institut für Getreideverarbeitung, Nuthetal) fiel, wurde die Möglichkeit geprüft ob eine erhöhte Auffaserung des Strohdämmstoffes durch den im GEKO-System vorhandenen Mischkopf möglich ist. Die vorhandene Konstruktion wurde entsprechend erweitert und die Bauteile wurden beschafft. Der Mischkopf wurde fertiggestellt und in die Maschine zum Test eingebaut.

Mit Fertigstellung des modifizierten Mischkopfes sollte im Versuch geprüft werden ob eine erhöhte Auffaserung der Strohdämmung direkt im Einblasverfahren erfolgen kann. Zur Konzeptbewertung des Andruckverfahrens wurde die Rohddichte ermittelt in Abhängigkeit von Einblasdichte und mechanischen Andruck, sowie die Rückfederkraft.

Die Ergebnisse der Besprechungen mit Fa GEKO über mögliche Varianten von Strohdämmung mit und ohne Stabilisierungszusätze wurden zunächst in Labormodellen in Tattendorf auch unter Verwendung von durch GEKO beigestelltem Versuchsmaterial getestet.

Tests mit Stabilisierungsmitteln für Strohhäcksel) wurden nach Angaben von GEKO (Testserie 1/BL / V 090524 HW) durchgeführt. Eine Reihe ungelöster Probleme ließ diese Technik zur Erreichung genügender Setzungssicherheit nicht genügend erfolgversprechend aussehen. Sie wurde daher nicht weiter verfolgt.



### **2.3.6 Erweiterte Strohhäcksel Einblasversuche**

Parallel zeigten erste Einblasversuche in Dobersberg, dass es möglich erscheint mit einer geeigneten Einblastechnik und einer optimierten Aufbereitung des Strohhäcksel setzungssichere Dichten dieses Dämmstoffs zu erreichen.

Die Modelle wurden jedoch noch mit manueller Verdichtung der Strohhäcksel dämmschicht gebaut, was für die Serienfertigung ein inakzeptabler Kostenfaktor wäre. Es stellte sich weiters aufgrund der Erkenntnisse aus den in Tattendorf gebauten Labormodellen heraus, dass man bei der geplanten Konstruktionsvariante der Gebäudehülle auf die, in jedem Fall fertigungstechnisch aufwändige Stabilisierung des Strohhäcksel, aus Brandschutzgründen wahrscheinlich gänzlich verzichten können würde! Das wäre eine große fertigungstechnische Erleichterung. Der Nachweis, dass das Restrisiko bezüglich Setzung und bezüglich des Brandverhaltens des Strohhäcksel in dieser Konstruktion gegen Null geht sollte ein wesentliches Ergebnis dieses Projekts sein und musste empirisch sicher geführt werden können.

### **2.3.7 Musterwand-Herstellung**

Herstellung einer 1:1-Musterwand, um unterschiedliche Einbringsituationen zu demonstrieren und zu versuchen. Es wurden auch vom Rechteck abweichende Füllflächen hergestellt und die Befüllung mit Strohhäcksel versucht. Weitere Versuche wurden für Befestigungssysteme von Rüttelplatten gemacht.

Durch unterschiedlich angeordnete Einbringöffnungen in den Wänden und damit verbundenen unterschiedlichen Rütteltechniken wurde versucht, die Einblasdichte zu optimieren. Auch Strohhäcksel wurde in unterschiedlicher Mahlgradstärke erzeugt und damit Einblasversuche gestartet. Wir konnten feststellen, dass unterschiedliche Häcksellängen die Einblasdichte wesentlich beeinflussen. Relevante Unterschiede in der Strohart (Weizen, Roggen, Hafer, Gerste) konnten nicht festgestellt werden.

Nachdem die Ergebnisse der ersten Wärmeleitfähigkeitsprüfungen Anfang 2010 vorlagen, konnte an der Optimierung der Strohhäcksel-Einbringung vertieft weitergearbeitet werden. Einerseits war hier noch genau zu untersuchen, ab welchem Grenzwertbereich bei welcher Einbringungsweise das Setzen des Strohs verhindert wird. Andererseits ob wesentliche Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit bei unterschiedlicher Befüllungsdichte vorhanden sind.

Zu einem späteren Zeitpunkt wird es sicher sinnvoll sein, genau zu untersuchen, inwieweit eine vollautomatisierte Befüllung der Elemente mit Strohhäcksel und eine automatische Wiegung - um die Befüllichte sicherzustellen - die wirtschaftlich sinnvollste Lösung darstellt.

Es war absehbar, dass dieser Entwicklungsschritt in die Vollautomatisierung ein weiteres F&E Projekt erfordern würde.

### **2.3.8 Rüttler-Recherche**

Unterschiedliche Anbieter von Rütteltechniken und Rütteltischen wurden ausfindig gemacht. Die angebotenen Produkte sind äußerst unterschiedlich. Telefonate mit Lieferfirmen haben ergeben, dass es vermutlich nur durch Versuche möglich sein würde, die optimale Rütteltechnik für die Stroheinbringung (Rüttelfrequenz und Amplitude) herauszufinden.

Auch für die Lehmbeschichtung im liegenden Zustand wurden Rütteltische als Produktionskonzept untersucht. Hier zeigte sich die gleiche Problematik. Anfangs 2010 wurden daher einige Versuche der Lehmputzeinbringung bzw. des Lehmputzauftrages bei liegenden 1:1 Musterwänden mit den Rüttlern für die Stroheinbringung durchgeführt.

### **2.3.9 Strohhäckselerzeugung**

Bei der Strohhäckselerzeugung gab es Gespräche mit dem Strohlieferanten über die Optimierung der Strohhäckselerzeugung. Es wurde diskutiert unterschiedliche Gegenschneiden bzw. Gitter einzusetzen, um den Mahlgrad zu optimieren und auch den Kraftaufwand der Maschine zu minimieren.

Im Dezember 2009 wurden unterschiedliche Versuche beim Produzenten durchgeführt. Der Kraftaufwand bei unterschiedlicher Häcksellänge bzw. unterschiedlichem Mahlgrad ändert sich nur geringfügig. Durchflusszeiten sind bei größerem Material klarerweise geringer, in der Kostenkalkulation jedoch kaum ausschlaggebend.

(Technische Details von Strohaufbereitungs-Testläufen siehe Anhang 5)

Mit einer Mühlenbau-Firma wurden im April 2010 Testläufe für Faseraufbereitung gemacht.

Ziel war es optimale Mahltechnik für Stroh und Hanf für Dämmung zu identifizieren, sowie mögliche Varianten für den Anlagenbau von der Stroh-Anlieferung bis zur Einblasmaschine. Schlagleistenmühlen, ein Mühlentyp der auch in Strohpellettierungsanlagen eingesetzt wird, wo es um große Durchsatzmengen geht, sollten effizienter als die ebenfalls für diesen Zweck üblichen Hammermühlen arbeiten.

#### Strohhäcksel - Wärmeleitfähigkeit

Hier wurde erste Messungen der Wärmeleitfähigkeit an der TFVA der TU Graz konzipiert und eine Messvorrichtung gebaut. Bei diesem scheinbar einfachen Prüfverfahren traten

unerwartet Probleme auf, da es sich beim verwendeten Strohhäcksel um Material handelt, das einerseits lose ist, andererseits aber unter Druck steht.

Es musste daher ein spezieller Prüfkörper gebaut werden. Leider trat dann bei der eigentlichen Messung ein (damit nicht zusammenhängender) Defekt am Prüfgerät auf, der verhinderte, dass erste Messergebnisse wie geplant im Dezember 2009 verfügbar waren. Das war einer der zahlreichen Fälle von Verzögerung im Projektablauf.

Die weiteren Prüfungen wurden vom Ecolabor in Stainz/Stmk ausgeführt; Beprobungen mussten wiederholt werden. In der Folge wurde die weitere Vorgangsweise mit dem Ecolabor laufend besprochen.

Ein erster Prüfbericht im Rahmen dieser EU-akkreditierten Prüfstelle mit dem Lambda-Wert für trockenen Strohhäcksel basierte auf der durchgeführten Messung bei einer Dichte 110 kg und bei 23 Grad auf 50 % konditioniert und sodann bei 70 Grad getrocknet. Unter diesen Prüfbedingungen ergab sich ein Messwert von  $\lambda = 0,03859 \text{ W/mK}$ . Nun war dieser Wert bei weitem noch nicht ausreichend um in eine PHPP-Berechnung zu gehen, denn man muss vorschriftsgemäß mit einem Sicherheitszuschlag kalkulieren.

Die erste Messung brachte ein sehr erfreuliches und ermutigendes Ergebnis:

Dieser gemessene Wert von  $\lambda = 0,03859 \text{ W/mK}$  für unseren Strohhäcksel war besser als alle bisher publizierten Messwerte für Ballenstroh. Die Wärmedämmung mit Strohhäcksel war daher, so wurde erwartet, technisch leistungsfähiger als eine Wärmedämmung mit Strohballen. Für die konstruktive Bemessung von Dämmstärken-Varianten war damit eine erste verlässliche Basis gegeben. Allerdings war uns anfangs noch nicht bekannt, dass aufgrund der offeneren, aufgebrochenen Struktur des Strohhäcksel gegenüber Ganzhalmen in Ballen die Feuchteaufnahme im obersten Grenzbereich deutlich höher ist. Dieser Unterschied spielt zwar in der Realität in funktionierenden Wandaufbauten praktisch keine Rolle, er führt aber zu ungünstigeren theoretischen Werten der Wärmeleitfähigkeit für Berechnungen aufgrund der gegebenen Prüfvorschriften

#### ETZ: (Europäische technische Zulassung):

Die Notwendigkeit einer ETZ für Strohhäcksel wurde im Team diskutiert und wurde im April 2010 beauftragt. Denn ein REI-Test auf Feuerwiderstand des Gesamt-Bauteils allein genügt nicht für eine ETZ; die Kategorie der Brennbarkeit des verwendeten Dämmstoffs muss ebenfalls nachgewiesen werden. (Kategorie E neu = B2 alt (normal entflammbar), das muss jeder Dämmstoff nachweisen können). Das Setzungsverhalten und das Feuchteverhalten waren ebenfalls nachzuweisen.

#### Der Effekt der Messnorm – Prüfungsverfahrensänderung 2002:

Es zeigte sich, dass die bisher verwendeten Lambda-Werte aus der Literatur für Ballenstroh für einen direkten Vergleich ungeeignet waren, soweit sie noch unter den günstigeren, bis

2002 geltenden Messvorschriften erstellt wurden. Denn mit dem Prüfungsverfahren nach der neuen EU Norm kommen andere, ungünstigere Wärmeleitfähigkeits-Werte für Stroh heraus.

#### Der Stand des Strohhäckseleinbaus Mitte 2010:

Auch der aktuell in Dobersberg bisher erreichte, vergleichsweise günstigere Arbeitszeit - Wert für die Häckseleinbringung lag noch immer beim Dreifachen des Zeitaufwandes für das Einbringen von Zellulose-Dämmung.

Die Frage war, wie weit diese Differenz durch technische Verbesserungen verringert werden könnte. Ein Messvergleich des Einflusses der Halmausrichtung von Strohhäckseldämmung brachte die Erkenntnis, dass eine generelle Halmausrichtung normal zum Wärmestrom um den Faktor 1,4 besser ist als eine parallele Ausrichtung.

Ein Testergebnis im Labor unter theoretischen Idealbedingungen ergab sogar, dass exakt normal zum Wärmestrom ausgerichtete Halme um den Faktor 2,21 bessere Dämmeigenschaften haben als exakt parallel zum Wärmestrom ausgerichtete Halme.

#### Strohhäcksel – Feuchtebeständigkeit:

Zu einem unfreiwilligen Test der Feuchtebeständigkeit des Strohhäcksel im Bauteilaufbau kam es infolge eines ungewöhnlichen Materialfehlers eines Kunststoffrohr-Herstellers (undichte Nahtstelle an einer Kaltwasserleitung aus Kunststoff) im Bereich der unterlüfteten, auf Streifenfundamenten aufgeständerten strohgedämmten Bodenplattform eines fertiggestellten Lopas-Hauses

Der Schaden war offenbar erst nach der ordnungsgemäß verlaufenen Druckprobe durch den Installateur aufgetreten und war durch die Versicherung des Herstellers gedeckt. Über Wochen sickerte hier Wasser in erheblichen Mengen unbemerkt in die Strohhäcksel-Dämmung der Bodenplattform und weiter in den Hohlraum im Bereich des Streifenfundaments, bis es von den Bewohnern zufällig entdeckt wurde.

Die Trocknung mit Einblasen von Kaltluft, zusammen mit dem gewählten, diffusionsoffenen Aufbau der Leichtbau-Plattform-Bauteile ermöglichte ein schadloses Austrocknen der Dämmung innerhalb von 5 Wochen. Die nur im Bereich der Rohrdurchführungen kleinflächig auf ca. 0,5 m<sup>2</sup> verbaute Steinwoll-Dämmung dagegen trocknete nicht, musste ersetzt werden und als Müll entsorgt werden.

#### Schimmelresistenz:

Wegen der gängigen Vorbehalte gegen Stroh als Dämmstoff hatten wir im vorliegenden Projekt immer dem Punkt Schimmelanfälligkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt. In der Praxis hatten sich seit dem Bau des strohgedämmten Passivhaus-Prototypen in Tattendorf 2005 keinerlei Anhaltspunkte für eine Anfälligkeit ergeben. Kurz vor Projektende 2011 wurde ein Prüfprozess auf Schimmelbefall entsprechend CUAB durchgeführt.

Das Ergebnis zeigte dass die Lopas Strohhäckseldämmung Klasse 2 entspricht, also die zweitbeste Klasse auf einer Skala von 5 möglichen Klassen erreicht. Für einen organischen, nachwachsenden Dämmstoff ist das die beste erreichbare Klassifizierung.

#### Prüfung Strohhäcksel – Wärmeleitfähigkeit:

Im Juni 2009 wurde in der angemieteten Produktionshalle der Fa. Longin in Eggersdorf, nahe Dobersberg die Technik der Strohhäckselinbringung von Ecolabor besichtigt und diskutiert. Weiters wurde für Wärmeleitfähigkeitsprüfungen ein Testmodell gebaut.



(Foto 4: Lopas-Wandelement bei Befüllung)



(Foto 5: Prüfkörper wird als Kleinmodell gebaut. Darunter die provisorische Rüttel-Plattform zur Befüllung der Wandelemente, mit Reifen unterlegt.)



(Foto 6: Befüllung des Prüfkörpers mit Strohhacksel)



(Foto 7: Kontrolle des Füllungsgrades nach Öffnen des Probekörpers.)

#### Weiterentwicklung der Einblastechik bis Mitte 2010:

In diesem Zeitraum wurde eine weitere Vorgehensweise bei der Entwicklung diskutiert. Des Weiteren wurde die Stroheinbringung mit einer Spezialdüse getestet, Rüttelgeräte angeschafft und Rütteln mittels Frequenzumformer getestet.

#### Stand Ende 2010:

Überlegung: Der bäuerliche Stroh-Lieferant soll in eine „Satellitenlösung“ eingebunden werden. Oberhalb der Halle würde ein Anbau mit Schleppdach gemacht. Das Stroh wird in Großballen angeliefert, dort unter Dach gehäckselt und via Ansaug-Gosse in einen 30 m<sup>3</sup> Container mit Filtersäcken f.d. Abluft eingblasen und dabei gleichzeitig ausreichend entstaubt (Abtrennung von Erdresten). Daraus ergäbe sich im Container ein Puffervolumen für den kurzfristigen Bedarf von etwa 6 Stunden. Je gelagertem Ballen mit 350 kg Gewicht wären weitere 3 Stunden für den mittelfristigen Bedarf durch Lagerung im Anbau verfügbar. Diese Ballen könnten z.B. auf einem kurzen mechanischen Zufahrtstisch zur Strohmühle stehen. Mit dieser Anordnung könnten z.B. 3 Ballen mit zusammen etwa 1 Tonne als weitere 9 Stunden Produktionsreserve dienen, die auf Knopfdruck verfügbar wären. Damit wäre ausreichende Flexibilität für eine rationelle Strohbefüllung mit einer geeigneten Befüll-Einrichtung in der Produktionshalle gegeben.

Eine Anlage zur Erzeugung von Strohhäcksel als Vormaterial für Pellets in Oberwaltersdorf/NÖ wurde im Nov. 2010 besichtigt. Der Hersteller des Transportsystems für Strohhäcksel mit Puffercontainer wurde kontaktiert. Das Transportsystem ist innenraumtauglich, da mit allen Filtern ausgerüstet! Die Leistung der angeschlossenen Zerma – Mühle beträgt hier 1400 kg/h. bei 6 mm Feinhäcksel. Beim Lopas-Verfahren wird jedoch mit längerem Häcksel gearbeitet und daher wäre lt. Hersteller die Durchsatzleistung wesentlich größer, sie läge im Bereich von ca. 2000 kg/Std.

Parallel zu dieser Entwicklung einer rationellen Herstellung und Bereitstellung von Strohhäcksel für den Fertigungsprozess wurden mehrere Versuchslinien zur Entwicklung eines setzungssicheren Einbringungsverfahrens verfolgt.

Neben Versuchen mit mechanischen Verdichtungstechniken wurde z.B. eine anfangs scheinbar erfolgversprechende Methode mit Setzbremsen aus Karton verfolgt. Sie erwies jedoch sich als nicht brauchbar. Als am ehesten zielführende Lösung stellte sich die Stoßverdichtung heraus.

### Stoßverdichtung von Strohhäcksel

Vorgangsweise:

In Labortests wurden mit Stoßverdichtung (bei 40 bis 50 Stößen mit Fallhöhe 7 cm) und einmaligem Nachfüllen von Häcksel Dichten im Prüfkörper von über 100 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Zugleich ergab sich durch dieses Einbringverfahren die erforderliche durchgehende Ausrichtung der Halme normal zur Wärmeflussrichtung in der Wand. Nachfolgende improvisierte Stoßverdichtungs-Tests an 1:1-Wandmodellen ergaben, dass der setzungssichere Dichtebereich von >100 kg/m<sup>3</sup> erreichbar ist und dass daher auf eine zusätzliche Verdichtung durch Einblasen verzichtet werden kann. Die Kombination von Einschütten und Einblasen des Dämmstoffs hätte zu einem unverträglich hohen Einbauaufwand geführt.

Eine wichtige Frage tauchte auf, nämlich nach der Strohqualität. Einmal bereits am Feld abgeregetes Stroh lasse sich kaum verdichten, meinte ein Projektmitglied, trockenes Stroh dagegen schon. R. Meingast vermutete, dass das Setzungsverhalten gleichartig ist, also abgeregetes Stroh entsprechend setzungssicherer wäre, als trocken gebliebenes. Das war in 1:1-Tests nachzuprüfen, denn es kann vermutlich keine praktikable Eingangskontrolle auf diesen Faktor hin geben. Versuche mit Gefachen mit unterschiedlichen Strohsorten (abgereget und nicht abgereget) wurden im Rahmen der Stoßverdichtungstests ausgeführt.



### **2.3.10 Grundkonzept für eine zukünftige rationelle Strohhäcksel-Einbringung in einer industriellen Fertigung**

#### Dämmstoff – Füllstation:

Die Dämmstoff-Füllstation wird mit einem durchsichtigen Lamellenvorhang bzw. transparentem Planen-Zeltdach oberhalb des Befülltrichters unter leichten Unterdruck gesetzt, so dass es zu keiner nennenswerten Staubbelastung in der Produktionshalle kommt, aber Produktionsplattformen durch die Lamellenvorhänge der Schleusen fahren können.

#### Befüllvorgang:

Das Befüllen wird teilautomatisiert mit einem Kastenbeschicker gemacht, dessen Boden aus einer Reihe von Stachelwalzen besteht. Der Auslass des Kastens überspannt die maximal mögliche Breite eines Bauteils. (Der Kasten samt Walzen könnte auch zum größten Teil aus Holz hergestellt werden.).

Dieser Kastenbeschicker wird über z.B. einen 50 cm starken, flexiblen Schlauch vom Puffer-Container aus mit Häcksel versorgt und fährt, z.B. auf Schienen hängend von einem Ende des liegenden Fertigteils zum anderen.

Nach Ausführung der Stoßverdichtung fährt der Kastenbeschicker zurück in die Ausgangsposition und füllt dabei über die ganze Fläche Häcksel nach. Danach wird nochmals nachverdichtet, dazwischen wird der Kastenbeschicker nachgefüllt. Ein, zwischen den aufgeständerten Rollen der Schienenkufen der Produktionsplattform laufendes, breites Förderband transportiert den überschüssigen Häcksel ab, der beim Befüllen der Wand durch Öffnungen und den Träger-Raster des Tisches etc. fällt. Dieser Überschuss wird über eine Schnecke und ein Gebläse wieder zurück in den Puffer-Container gefördert.

Robuste Wiegezellen, integriert in die Ständer der Transportrollen dienen der Kontrolle, der Protokollierung und Automatisierung des Befüllprozesses.

#### Strohqualitätsschwankungen:

Ein struktureller Unterschied ist durch das Beregnen oder nicht Beregnen am Feld durch Organik-Verlust bedingt. (eine manuelle Eingangskontrolle zeigte, dass alles Material im Bereich der Gleichgewichtsfeuchte lag!) Alle Proben stammten vom selben Lieferanten und wurden mit derselben Maschine gemahlen.

Sperriges Haferstroh scheidet leider aus, weil zu wenig am Markt ist um Versorgungssicherheit und Preisstabilität zu gewährleisten. Wir müssen uns auf gewisse, definierte Schwankungen des Naturmaterials Stroh einstellen.

### Wärmeleitfähigkeits-Prüfverfahren:

Seit Okt 2009 muss die Wärmeleitfähigkeit ganzzahlig aufgerundet werden, vorher nur mathematisch. Z.B. 0,0431 würde daher nun zu 0,044 !

Die LOPAS Strohhäckseldämmung erreicht nach diesem genormten Verfahren einen Wärmeleitfähigkeitsrechenwert von 0,042 W/m<sup>2</sup>K und liegt damit auf Niveau von Zellulose oder Steinwolle. D.h. es sind keine dickeren Wandstärken durch diese organische Dämmung notwendig.

## **2.4. Entwicklung maschineller Beschichtungsverfahren für die massive Lehmbaustoffschicht**

### **2.4.1 Beschichtungsmaterial und -aufbau**

Dazu wurden im Labor des geologischen Instituts der Univ. f. Bodenkultur eine Reihe von Analysen von Rohstoffen (Lehme, Tone, Sande) für die Optimierung der Biofaserlehmherstellung für diese Schicht durchgeführt.

Weiters wurde eine Reihe von Gesprächen mit externen Fachleuten geführt. So mit Lehmbautechnik-Experten aus einem früheren gemeinsamen F&E Projekt aus Deutschland und Estland, mit Fachleuten für Lehmverputzarbeiten, sowie insbesondere mit Bauphysikern und Fachleuten für Brandprüfungen der Prüfanstalt der Stadt Wien, MA 39.

Darauf aufbauend und mit den Erfahrungen aus den HdZ Projekten zum Lehm PH-Prototyp in Tattendorf (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id2759> <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id2758> ) wurden als erster Schritt neue Biofaserlehm-mischungen und Putzträgerkonstruktionen in Labormodellen getestet und anschließend probeweise an Testflächen verarbeitet.

### **2.4.2 Brandwiderstandstests an Kleinmodellen**

Als zweiten Schritt wurden mit den so ermittelten Details mit Fa. Longin im Werk Dobersberg eine Serie von Kleinbrandmodellen gebaut und in Tattendorf mit den inneren und äußeren Tragstrukturlagen und der Biofaserlehm-beschichtung komplettiert.

### **2.4.3 Fertigung/Aufbringung der Lehmschicht im Werk:**

Ab Juli 2009 wurden Versuche zur Verwendung eines Silos für den Biofaserlehm durchgeführt. Ziel war es eine geeignete Einblastechik für einen Standsilo für die angelieferte Biofaserlehm-Fertigmischung für eine künftige Fertigung in Dobersberg zu finden. Die problemlose Funktion eines Standsilos mit integrierter SMP-Mörtelpumpe konnte nachgewiesen werden.

Über flexible, entsprechend dimensionierte Mörtelleitungen könnte der Mörtel zur Beschichtungsstation in einer Produktionshalle rationell gepumpt werden. Vorteilhaft ist, dass der Biofaserlehm im Schlauch unbeeinflusst von Standzeiten pumpfähig bleibt.

Die Einblastechik für das Umladen der Lehmputz-Fertigmischung aus dem Silo-LKW in den Standsilo funktionierte nicht befriedigend, es gibt jedoch ein verbessertes Konzept dafür, das aber in dieser Phase noch nicht getestet wurde. Für den Beschichtungsprozess sollte in der Folge der Stand der Technik in der Beton-Fertigteileindustrie ermittelt werden und auf seine Adaptierbarkeit für die Fertigung der Lopas-Elemente untersucht werden. Ein erster Besuch einer solchen Anlage erfolgte. Die systematische Internet-Recherche wurde unternommen.

Weiters ist ein energieeffizientes Trocknungskonzept im 1:1-Modell zu testen. Ein weiterer Schritt soll die Anwendung der im Prototyp an der Innenseite der Außenwände verwendeten Lehm-Vliestechik bei der Vorfertigung von Zwischenwand-Fertigteilen sein.

### **2.4.4 Lehmbaustoff-Einbringung**

Ziel war hier das Entwickeln der möglichst effizienten Kombination einer für Lehmbaustoff adaptierten Betonfertigteiletechnik mit der konventionellen Holz-Leichtbau Fertigteiletechnik.

Der HdZ Bericht 13/2005 „Industriell produzierte Wohnbauten“ wurde in der Projektgruppe intensiv diskutiert (<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id2799> ). Der Ansatz des Toyota- Konzerns, die Fertigung von Stahlskelettkonstruktionen aus dem Automobilbau in der Japanischen Fertighausindustrie einzusetzen ist interessant als vergleichbar radikale Strukturveränderung gegenüber der konventionellen Fertighaus-Produktionstechnologie. (Jedoch ist die dort gewählte Stahlbauweise aus heutiger Sicht von der Ressourceneffizienz her und zunehmend vermutlich auch wirtschaftlich wegen der Entwicklung der Stahlpreise problematisch).

Erste Gespräche betreffend Adaption von Fertigungsverfahren für Betonfertigteile für eine industrielle Produktion in Dobersberg wurden geführt. Insbesondere die Technik der „Verdichtung von Beton in verlorenen Schalungen“ mit ICF - Flächenrüttlern (ICF = Insulated Concrete Forms) ist anscheinend den Anforderungen für die Herstellung von kombinierten

Lehm/Holz Fertigteilen am ähnlichsten. Jedoch betraten wir sowohl bei Nasslehm als auch bei Strohhäcksel Neuland, denn es gibt keine Erfahrungswerte bei den Ausrüstungsherstellern. Im Jänner 2010 konnte die Besichtigung eines geeigneten modernen Betonfertigwerks durch R. Meingast vereinbart werden.

Für die Fertigstellung der 8-10 mm Feinputz-Endbeschichtung auf der Baustelle wurden Verputzfirmen kontaktiert und Angebotsbedingungen und geographische Arbeitsbereiche besprochen.

Für die Lehmbeschichtung im liegenden Zustand würden Rütteltische notwendig sein. Hier stellt sich die gleiche Problematik wie beim Strohhäcksel. Vorerst wurden einige Versuche der Lehmputzeinbringung bzw. des Lehmputzauftrages bei liegenden Musterwänden mit den Rüttlern für die Stroheinbringung durchgeführt.

#### **2.4.5 Integration der Lehm-Beschichtung in die Fertigung**

Eine offene Frage war, ob die Aufbringung der Lehmschicht in der Fertigung in vertikaler Position oder in liegender Position erfolgen sollte. Die Vor- und Nachteile beider Verfahren wurden diskutiert.

Das Aufbringen in vertikaler Position ist tendenziell logistisch einfacher, es wird weniger Fläche benötigt. Jedoch wird dieses Verfahren, ähnlich wie der klassische Maschinenputz (vor Ort auf Baustellen) in der Vorfertigung kaum wirtschaftlich automatisierbar sein.

##### Befüllung/Beschichtung mit BFL (Biofaserlehm) in waagrechter Position:

In der Betonfertigteilindustrie wird eine ganz ähnliche Aufgabe, das Aufbringen einer mörtelähnlichen Betonmasse auf waagrecht liegende, großflächige und mit Öffnungen versehenen Fertigteile nach Stand der Technik mit sehr hohem Automatisierungsgrad gelöst.

Zuerst wurde daher versucht, die im Betonbau für wärme gedämmte Verbund-Fertigteile übliche Rütteltechnik für dieses Verfahren zu adaptieren. Dazu wurde mit einer auf Rütteltechnik in diesem Bereich spezialisierten Firma an einem Konzept gearbeitet, das in einem aufeinander folgenden Arbeitsgang zuerst den Strohhäcksel und dann gegen die dämpfende Wirkung des Stroh im Fertigteil dieses mit voller Kraft rütteln sollte.

Es zeigte sich, dass die extreme Dämpfung von Vibrationen durch die Strohhäckselfüllung diese konventionelle Methode aus der Betonfertigteiltechnik unbrauchbar macht.

### Nebeneffekt Erdbebensicherheit:

Dieser massive, unerwünschte Effekt berechtigt aber andererseits zur Annahme, dass diese Eigenschaft der LOPAS-Fertigteile eine sehr hohe Sicherheit gegen Erdbebenschäden bringen müsste. In gewissen Märkten wäre eine höhere Erdbebensicherheit als bei möglicherweise allen anderen vergleichbaren Konstruktionen ein Wettbewerbsvorteil.

### „Schütteltisch“ statt Rütteltisch:

Alle konzeptionellen Versuche die Rütteltechnik aus der Betonfertigteileindustrie zu adaptieren waren gescheitert weil die Eigendämpfung eines Wandaufbaus aus Holz, Stroh und Faserlehm derart hoch ist, dass die Vibrationsenergie von Rüttlern bis zur Wirkungslosigkeit gedämpft werden würde. Eine weitere Rüttler - Herstellerfirma verwies auf ebenfalls negative Erfahrungen mit einem ähnlichen Aufbau mit Stroh.

Weitere Recherchen und der Besuch in einem modernen Beton-Fertigteilwerks zeigten einen Ausweg. Verfahrensabläufe der Betonfertigteile-Technologie wurden dort mit zwei Zielrichtungen studiert. Einerseits hinsichtlich der Möglichkeit zur Produktion von neuartigen Fertigteilen für Zwischenwände aus Massivlehm und andererseits wegen der Integration der inneren 30/35 mm BFL-Beschichtung in den Lopas-Produktionsprozess in Dobersberg.

Die vordringliche Aufgabe besteht darin den Stand der Holzfertighaus-Produktion für die Integration von Lehmkomponenten optimal mit geeigneten Verfahrensschritten aus der Betonfertigteile-Produktion zu verbinden. Dabei wird eine Fertigungs-Plattform mit dem darauf liegenden Bauteil relativ sanft horizontal mit Exzentermotoren geschüttelt und dadurch nivelliert sich die Füllmasse automatisch im Rahmen. Das Verfahren verbraucht einen Bruchteil der unerwünschten Energie eines Rütteltisches und erzeugt dabei kaum Lärm. Die Plattform ist in der Ebene über aufgeständerte Rollen z.B. in die Trockenstation bewegbar, kann aber auch über den Portalkran in der Halle versetzt werden. Dadurch können hinderliche, starre Transport-Schienen am Boden der Halle entfallen.

Die Spezialkomponente „Schütteltisch“ wird über eine Recherche via Betonfertigteilausrüster gesucht. Z.B. hatte das IFF in Weimar einen „Wellentisch“ entwickelt, der ebenfalls über Exzentermotoren angetrieben, eine wellenförmige Bewegung auf die Füllmasse überträgt.

Ein 1:1-Beschichtungs-Test mit einem LOPAS-Fertigteil war in jedem Fall erforderlich so bald ein potentieller Lieferant einer für BFL geeigneten Technik identifiziert war.

## **2.4.6 Befüllungs-Varianten für das liegende Fertigteil**

### Manuell

Der BFL wird über eine Schlauchleitung (wirtschaftlich mit bis max. 25 m Länge) von einer Mörtelpumpe am Putzsilo oder aus dem 1000 kg Vormischer zum Fertigteil gepumpt und mit Abziehlatten auf 30 mm eingeebnet. Die überstehenden Einbaudosen bilden dabei ein gewisses Hindernis dem ausgewichen werden muss.

### Automatisch

Die Dosiereinrichtung aus der Betonindustrie für diesen Zweck könnte voraussichtlich unverändert übernommen werden. Sie wird über Mörtelschlauch mit dem für das Bauteil erforderlichen BFL - Materialgewicht versorgt. Die Eigenschaft von fertig angemischtem Lehmörtel, dass er ohne Trocknung in geschlossenen Schläuchen oder Behältern unbeschränkte Zeit plastisch verarbeitbar bleibt, bringt für industrielle Fertigungsprozesse einen Vorteil gegenüber Beton. Aus einem Behälter (am Portalkran über dem Schütteltisch hängend) mit einem segmentierten Schlitz, der über die maximale Fertigteilbreite reicht, kann das Beschichtungsmaterial nach Gewicht und in 20 cm Streifen nach Zeit gesteuert so abgesetzt werden, dass z.B. bis 20 x 20 cm kleine Öffnungen ausgespart werden können. Über die 30 mm Ebene herausragende Einbauteile sind hier kein Zusatzaufwand mehr. Nach der Nivellierung am Schütteltisch wird nur noch die Sauberkeit der Befüllung kontrolliert und evtl. Überstände manuell entfernt.

## **2.4.7 Prozessabschnitte nach dem Befüllen:**

### Variante A

Von der Schütteltisch-Station fährt die Fertigungsplattform zur anschließenden Trockenstation (über aufgeständerte Rollen), wo die Fertigteile in liegender Position nach dem Paternoster-Prinzip langsam durchtransportiert und getrocknet werden. Anschließend befindet sich eine Kippstation (s. Foto 12) für das Aufrichten für die Zusammenstellung für den Transport.

### Variante B

Von der Schütteltisch-Station fährt die Fertigungsplattform direkt zur anschließenden Kippstation um von dort weg mit Hilfe des Hallen-Portalkrans vertikal in die Trockenkammer transportiert zu werden. In einem 1:1-Versuch war die Frage zu klären ob dies so weit erschütterungsfrei möglich ist, dass es zu keiner unzulässigen Verformung der Oberfläche der noch feuchten Lehmörtelmasse kommt. Diese Vorgangsweise wird angestrebt da sie bei kleineren Stückzahlen von der Investition her kostengünstiger als Variante A sein dürfte.



(Foto 8 Kippstation eines Beton-Fertigteilwerks)

#### **2.4.8 Lehm-Beschichtung**

Das Anlagenkonzept für die Lehmputz – Integration in die Fertigung wurde überarbeitet und eine Sieblinienoptimierung des Lehmputzes für die Deckschicht ausgeführt.

Bei Recherchen auf der Suche nach einem geeigneten Fertigungstisch wurde seitens von Betonindustrie-Ausrüstern das Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau (IFF) in Weimar empfohlen.

Aus der Anfrage zu dem vom IFF entwickelten Wellentisch ergab sich dann, dass dieses Institut seit Langem auf den industriellen Betonfertigteilbau spezialisiert ist und einer der am besten geeigneten Ansprechpartner für die Adaption von industriellen Beton-Fertigteilverfahren auf den Einsatz von Lehm sein würde. DI Martin/ IFF erklärte, dass nach seinem Wissensstand bisher keine Ansätze zu einem Einsatz von Lehm in der industriellen Vorfertigung bekannt geworden seien. Es wurden mögliche Entwicklungsschritte diskutiert und Angebotserstellung vereinbart.

##### Optimierung der Aufbringung der Biofaserlehmschicht

Das IFF Weimar, erstellte ein Angebot für die gemeinsam erarbeitete Versuchsanordnungen mit dem Schütteltisch des Instituts, das von LOPAS angenommen wurde.

Dazu waren umfangreiche Vorarbeiten nötig, z.B. Skizzen vom Aufbau und der Dichte der einzelnen Schichten sowie der Bau von zwei 1:1 Testmodellen in Doberberg, die vorab nach Weimar geschickt wurden, für den geplanten Lopas-Versuchs-Termin am IFF im Juli 2010. Lehm als Baustoff war für das auf Beton spezialisierte Institut ein völlig neues Thema, das aber interessante Ähnlichkeiten im technischen Verhalten aufweist.

#### Lehm-Beschichtung in der Fertigung

Recherchen ergaben, dass auch im klassischen Beton-Schalungsbau mit optimierten Schwingungsfrequenzen bei gleichzeitiger Verkürzung der Rüttelzeit wesentliche Verbesserungen der Betongüte erreicht wurden. Als Vorbereitungen wurden die für Juli vereinbarten Schwingtisch-Versuche am IFF Weimar detailliert geplant.

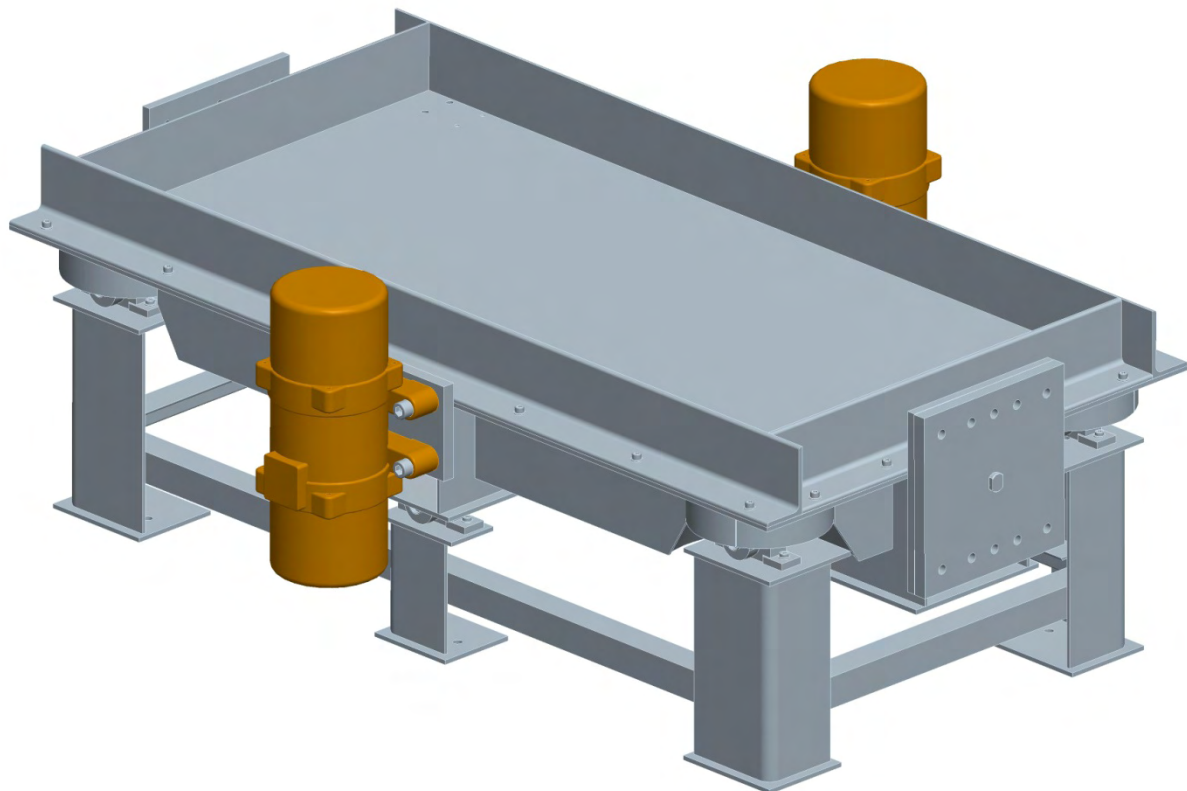


Abb. 1 Verfügbarer, frequenzverstellbarer Schwingtisch 1000 x 2000 mm am IFF Weimar

#### Zusammenfassung der in Weimar am IFF erzielten Ergebnisse:

Das niederfrequente Schütteln ist ein erfolgversprechendes Verfahren für das schnelle Nivellieren von Lehmmassen in der Installationsebene der Lopas-Wandelemente (und auf den Deckenelementen).



Eine spätere Ausweitung der Anwendung dieser Produktionstechnik auch auf die Vorfertigung von Zwischenwänden wäre naheliegend.

Die Voraussetzungen für die effiziente Einleitung von Schwingungsenergie in plastische Biofaserlehm-masse konnten im Laufe der Tests eindeutig identifiziert werden.

Grundsätzlich könnte diese Technik bei Verbundkonstruktionen von Holz und Lehm sogar effizienter funktionieren als bei Betonfertigteilen in Stahlschalungen, für die sie entwickelt wurde.

Dieses Ergebnis lässt eine Änderung und sogar Vereinfachung des Aufbaues der mineralischen Lehm-Ebene in der Lopas-Fertigung möglich erscheinen. Die neuen Erkenntnisse wurden im Bau von Modellen vom Labormaßstab bis 1:1 getestet und sollten so bald als möglich in der Fertigung angewendet werden.



Foto 9: Beginn eines Ausbreitversuchs am Schwingtisch mit Gemengekonsistenz „Kegel“.

#### **2.4.9 Optimierung des LOPAS-Wandaufbaues**

In der Diskussion mit manchen Architekten und Kunden wurde Kritik an OSB-Platten als Innenbeplankung geübt. Der aktuelle Aufbau wurde als bauökologisch unbefriedigend im Verhältnis zum Anspruch des Lopas-Bausystems bezeichnet.

Daher wurde nun im Rahmen dieses Projekts versucht eine statisch wirksame Diagonalschalung für die Innenseite der Außenwände kostenmäßig in den Griff zu kriegen. (Auf der Außenseite der Außenwand soll, wie seit längerem geplant, eine verputzte HWF ohne Hinterlüftung die bisherige gelochte MFP oder OSB Spanplatte ersetzen.).

Da ja beim Prototyp in Tattendorf bereits 2005 technisch erfolgreich mit Rauschalung und Lehm-Vliestechnik die Luftdichtheit eines solchen unkonventionellen Aufbaues in der Praxis nachgewiesen wurde, erscheint eine solche Lösung möglich. Beim Prototyp in Tattendorf musste jedoch die Beplankung mit Rauschalung nicht als statisch wirksame Aussteifung herangezogen werden.

In der Lopas–Serienfertigung ist diese zusätzliche statisch aussteifende Funktion aber aus Kostengründen unverzichtbar. Es wurden daher verschiedene technische Möglichkeiten für die Ausbildung vorgefertigter, neuartiger Verbund-Elemente, bestehend aus Rauschalung und aufgeklebtem Vlies als Ersatz für OSB-Beplankungen diskutiert und als Modelle realisiert.

In diesem Zusammenhang wurden Möglichkeiten zur Auslagerung der Komponente „Rauschalungs-Vlieselement“ an Zulieferer im In- und Ausland breit recherchiert und mit einer Variante „Fertigung im Werk“ versucht zu vergleichen. Ein fundierter Kostenvergleich mit der OSB-Variante ist jedoch erst möglich wenn die Kosten für Verarbeitung und Verschnitt solcher neuen Elemente in der Fertigung feststehen.

#### **2.4.10 Kostensenkungspotential bei der LOPAS – Wandkonstruktion; noch zu lösende Details**

Die aufwändige Stuckaturmontage soll entfallen. Stattdessen soll entsprechend der erfolgten Patentanmeldung das aufgeleimte Vlies für die nass in nass Beschichtung eingesetzt werden. Senkrecht gesetzte Klammern in 30 mm Distanz vom Holz, netzförmig gestreut, werden eingesetzt als Distanzhalter, als Anker für Installationen und vor allem für Transport- und Brandsicherheit und für den statisch wirksamen Eintrag von Kräften in die (faserarmierte) Biofaserlehmschicht. Danach werden alle Installationen montiert. Nach Befüllung wird über die 30 mm Ebene abgezogen.

### Biofaserlehmörtel:

Ab einer gewissen Produktionsmenge könnte eine lokale erdfeuchte Produktion von Biofaserlehm für die Beschichtung aus der Dobersberger Lehm-Halde mit regional verfügbaren Sanden wirtschaftlich werden. Dies stellt mittelfristig ein beträchtliches Kostensenkungspotential dar.

Die Eignung des örtlichen Lehms für eine 30 bis 35 mm starken Grundsicht als innere Multifunktionsebene in einem technisch weniger anspruchsvollen Direkt-Beschichtungsverfahren ohne den Einsatz von Mörtelpumpen wurde in Labortests mit dem in Dobersberg am Firmengelände verfügbaren Lehm voruntersucht. Auch ein weiteres potentiell verfügbares Vorkommen in Dobersberg beim ehemaligen Bahnhof wurde untersucht.

Die Eignung beider Proben als Hauptkomponente einer möglichen künftigen lokalen Biofaserlehm-Produktion für die im Werk aufzubringende Grundsicht war grundsätzlich gut. Aufgrund der örtlichen geologischen Entstehungsbedingungen des Lehms ist bei diesen Vorkommen keine problematische Radonbelastung zu erwarten. Eine Kontroll-Messung durch eine Prüfstelle (z.B. Gamma Messstelle des ÖÖI) wäre im Rahmen der lehmbautechnischen Materialuntersuchungen vor einer Produktionsumstellung auf ein lokales Vorkommen durchzuführen.

Anhand der Erfahrungen aus kleinen und mittelgroßen Testflächen wurde erprobt wie sich die Lehmschicht am wirtschaftlichsten auf waagrecht liegende Bauteile aufbringen lässt.

Es ergaben sich folgende Fragestellungen:

Wie lange und mit welcher Frequenz muss gerüttelt werden um Ebenflächigkeit zu erreichen?

Welche wirtschaftlichen Alternativen zum Rütteln gibt es, solange keine industrielle Fertigungsausrüstung dafür entwickelt und einsetzbar ist?

Kann eine Rezeptur und Verarbeitungstechnologie entwickelt werden für die in einlagiger Ausführung ungewöhnlich starke Lehmbeschichtung, die die lehmbautechnisch zum Teil widersprüchlichen Anforderungen einer sehr rationellen Aufbringung, einer nicht künstlich verzögerten, schnellen, energieeffizienten Trocknung erfüllen kann, ohne dass es zu unzulässiger Schwindrissbildung und Deformation der trockenen Oberfläche der vorgefertigten Schicht kommt? Denn je präziser die werksseitige Grundsicht gefertigt werden kann, desto rationeller wird die Verarbeitung der dünnen Lehmputz-Deckschicht auf der Baustelle.

Mit welchem Untergrundaufbau (Schilfrohr oder alternative Einbauteile) ist die optimale Formstabilität, Transportsicherheit und Brandwiderstand erreichbar?

Hohe Plastizität für rationelle Befüllung und Oberflächenbearbeitung bringt andererseits aber die Gefahr des lehmbautechnisch typischen Kriechens der Masse im ungetrockneten Zustand beim notwendigen platzsparenden Trocknen in vertikaler Position.

Die Rütteltechnik mit frequenzgesteuerten Rüttelplatten erschien zwar grundsätzlich für die Lehm-Befüllung geeignet, aber eine automatische Nivellierung konnte so nicht erreicht werden. Hier sind weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich. Die Abgrenzung der Elemente und der Einbauteile erfordert einen relativ hohen Zeitaufwand, denn hier kann nicht wie bei Fertigteil-Trägerplattformen der Betonindustrie mit Stahlprofilen zum Abgrenzen gearbeitet werden. Durch Demontage von 1:1 Modellen konnte nachgewiesen werden, dass das Rütteln im hier angewandten Frequenzbereich keine Schäden an der Holzkonstruktion verursachte.

#### **2.4.11 Ergebnisstand bei weiteren Verbesserungen der Einbringtechnik für die Biofaserlehm-Grundschrift**

Die Weiterentwicklung der Einbringtechnik erfolgte 2011 nur auf der Stufe von Laborversuchen, da ein 1:1-Versuch und eine Investition in die Fertigungseinrichtung noch nicht machbar war.

#### **2.4.12 Lehm- Feinputz-Deckschicht**

##### Verbesserungsschritte beim Auftrag der Biofaserlehm-Deckschicht nach Montage der Elemente auf der Baustelle:

Die Ausführung der Biofaserlehm-Oberfläche wurde auf eine vergrößerte, strukturierte Oberfläche umgestellt, die das Trocknen und die Anhaftung der Deckschicht bei Fertigstellung nach der Montage begünstigt.

Die Rezeptur der Lehmmischung wurde auf einen lokal verfügbaren Zuschlag umgestellt. Dadurch wurde die innere Reibung im plastischen Zustand erhöht und die Trockenschwindung weiter verringert. Das erbringt eine präzisere Maßgenauigkeit der Lehm-Grundschrift und bereits im Montagezustand ein ansprechendes Erscheinungsbild.

Diese vorteilhaft verbesserte Materialkonsistenz der Grundschrift wäre aufgrund der neuen Materialzusammensetzung nun nicht mehr mit dem Spritzverfahren durch Putzmaschinen verarbeitbar. Die Entwicklung ist nun konsequent auf waagrechte Beschichtung der Bauteiloberfläche von oben, mit Hilfe einer über das Fertigteil geführten Beschickungseinrichtung eingestellt.

Als eines der wesentlichen Ergebnisse der Entwicklungsarbeit in diesem Projekt liegt nun zwar noch keine industrielle Lehmverarbeitungs-ausrüstung vor, aber die Funktionsprinzipien und die Anforderungen an eine solche Ausrüstung sind so weit klar geworden, dass sie die Basis für eine Produktionsanlagenplanung darstellen. Auf dieser Basis könnte Lopas mit einer Ausrüstungsfirma der Betonfertigteileindustrie eine modifizierte Lehm-Fertigteile-Anlage entwickeln. Eine solche Anlage sollte natürlich auch für die wirtschaftliche konkurrenzfähige Fertigung von Lehm-Zwischenwandkonstruktionen einsetzbar sein.

Erweitert um eine vorgelagerte Aufbereitungsstufe könnte zukünftig erstmals lokales Rohmaterial für eine lokale industrielle Lehm- Bautechnik wirtschaftlich eingesetzt werden. Bisher gibt es nur wenige Produktionsstandorte für Lehm-Baustoff in Mitteleuropa, diese beschränken sich auf Erzeugung von Lehmputzen und Lehmplatten auf technisch niedrigem, kleinindustriellem Niveau. Diese Standorte brauchen aber ein großräumiges Absatzgebiet um überhaupt wirtschaftliche Produktionsmengen zu erreichen).

Die geologischen Voraussetzungen für die Produktion der Lehm-Grundsicht für das Lopas-Bausystem sind in Dobersberg günstig. Zusammen mit einer Aufbereitungsstufe für lokales Ballenstroh wäre hier eine außerordentlich nachhaltige „Fabrik der Zukunft“ möglich.

## **2.5. Trocknungsversuche mit der Lehmbeschichtung auf Wandmodellen unter industriellen Umgebungsbedingungen**

### **2.5.1 Lehm-Trocknung**

Verwendet wurde maschinengängiger Grobputz der Fa. Biofaserlehm, der mit Putzmaschine auf das stehende Wandmodell aufgebracht wurde. Die vorgefertigten Wände wurden so verputzt und in die Trockenkammer am Werksgelände in Dobersberg transportiert.



1. Wand: Leisten konisch+Gitter, gedämmt:
2. Wand: Aufbau: Halbe Fläche Leisten Konisch + Gitter grob, halbe Fläche Leisten konisch + Putzarmierung, ungedämmt
3. Wand: Leisten quadrat. + Gitter grob, gedämmt
4. Wand: Schilf + Leisten quadrat., ungedämmt

#### Zusammenfassung:

Es wurde deutlich, dass die Luftgeschwindigkeit stark mit der Trocknungsgeschwindigkeit zusammenhängt. Es sollte aufgrund der Erkenntnisse möglich sein Wände mit 3 cm Lehmputz in max. 24 h zu trocknen. Es wurde auch kein Problem mit den E-Leitungen festgestellt. Berücksichtigt werden sollte jedoch, dass durch das rechtwinkelig zu den Wänden gerichtete Gebläse die erste. Wand geringfügig den Lehmputz verlor. Man könnte dem entgegenwirken, indem man den Lehmputz mit weniger Wasser mischt, (was eine Rezepturänderung voraussetzte)

Bei Einsatz eines Trocknungskanals in der Fertigung sollten die Ventilatoren effizienter angeordnet werden (ev. unter 45°). Mit weiteren Versuchen zur Optimierung des Beschichtungsmaterials Biofaserlehm konnte die Möglichkeit das horizontal gerüttelte Bauteil sofort anschließend ohne Verformung in die Senkrechte zu klappen weiter verbessert werden. Damit wären im Modell die Bedingungen für eine Trocknung in vertikaler Position gegeben.

Eine wesentliche Aufgabe war es nun diesen einfachen, einachsigen Kippvorgang in die Vertikale kostengünstiger als mit einem aufwändigen Dreh-Kipptisch zu lösen.

Für den eigentlichen Trocknungsprozess wurden daher mit einem Elektrotechnik-Experten und mit Ing. Longin mögliche technische Varianten einer effizienten Trocknung der Lehmkomponenten in der Fertigung besprochen.

Als unkonventionelle aber sehr effiziente Variante wurde die Trocknung mit elektrischem Strom über ein in die Lehmschicht eingebrachtes, ohnehin erforderliches Bewehrungsgitter besprochen und berechnet. Auf dieser Basis wurden zwei weitere Vergleichsvarianten entwickelt und zur Diskussion gestellt.

#### A-Variante: Trocknung als „Trocknung innerhalb des Bauteils“ (mit elektrischem Strom)

Bei Anordnung von 4 Wandelementen mit einer Länge von je 7 m (und angenommener Höhe 2,7 m = Gesamtfläche 75 m<sup>2</sup>) würden 24 kWh verbraucht werden. Das wären 0,32 kW/m<sup>2</sup>

Bei einer idealen 100%igen Wärmeabgabe innerhalb des Bauteils und dieser Leistung von 0,32 kWh/m<sup>2</sup>, wie berechnet, ergäbe sich ein theoretischer Wert von 24,6 Std für die Trocknungsdauer (bei ausreichender Luftversorgung und der optimistischen Annahme, dass die latente Umgebungswärme der Trocknungsluft die Wärmeverluste des Prozesses kompensieren könnte)

### B-Variante: „Trocknung durch Wärmestrahlungsflächen“ (mit Heizungswarmwasser)

Vorgang: Der zu trocknende Bauteil wird (in einem Kanal) knapp vor die Wärmestrahlungsfläche gefahren und der Spalt zwischen der feuchten Oberfläche und der Heizstrahlungsfläche mit Trocknungsluft durchströmt. Bei einer Warmwasser-Flächenheizung können erfahrungsgemäß bei einer Vorlauftemperatur von ca. 75 Grad ca. 700 W/m<sup>2</sup> abgestrahlt werden. Unbekannt ist jedoch der erwartbar größere Wirkungsgradverlust bei dieser 2. technischen Variante. Von Vorteil könnte eine wesentliche Verkürzung bis vielleicht Halbierung der Trockenzeit auf 12 Std gegenüber der betrachteten E-Heizungsvariante sein. Der schlechtere Wirkungsgrad könnte diesen theoretischen Vorteil aber vielleicht zunichtemachen. Dem gegenüber stehen die geringeren Energiekosten für 1 Srm Holz-Hackgut bei ca. 700 kWh Energieinhalt.

### C-Variante „reine Warmlufttrocknung“ (mit Heizungswarmwasser):

Vorgang: Trocknung in einer Trockenkammer

Eine Trocknung ausschließlich mit über Wärmetauscher erwärmter Luft weist möglicherweise den schlechtesten Wirkungsgrad der drei Varianten auf, mit negativen Folgen für Energieverbrauch oder Trocknungsdauer. Als Grundlagen für die Bewertung der drei Varianten soll eine Versuchsreihe im Labormaßstab dienen. Daher sollten für eine grobe Bewertung die drei Varianten A,B,C im Labormodellmaßstab mit drei Serien E – Wandheizmatten der Größe 150 x 55 cm kostengünstig und einfach auf den Energieverbrauch getestet werden.

Weiters wurden die Kosten der Bereitstellung der Energie in den drei Varianten abgeschätzt.

### Lehmtrocknung:

2 Mögliche Varianten der Lehmtrocknung wurden untersucht:

A: Trocknen mit Luft, wobei die Wände stehend verputzt werden und stehend in kleinem Luftkanal oder größerem Trocknungsraum getrocknet werden, siehe auch Zwischenbericht September 2009.

B: Trocknung mit elektrischem Strom, wobei das im Lehmputz eingebrachte Bewehrungsgitter als elektrisches Heizregister zur Trocknung dienen soll.

Zu A:

Besprechung mit Heizungstechniker über die unterschiedlichen Möglichkeiten der Lenkung und des Aufbaus einer Luftströmung mit vorgewärmter Luft. Überlegungen der Luftrückführung und Entfeuchtung, Untersuchungen der wirtschaftlichen Aspekte bei Verwendung unterschiedlicher Heizregister bzw. Ventilatoren. Geräuschentwicklung, Luftströmungsgeschwindigkeit. Erzielen einer gleichmäßigen Luftströmung an der gesamten

Wandoberfläche. Überlegung der möglichen Integration der Trocknung in die Produktionsstraße.

Zu B:

Besprechung über die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten der elektrischen Lehm-trocknung und der dafür notwendigen maschinellen Ausstattung. Berechnung von Anschlussleistungen. In Zusammenhang mit dieser Trockentechnik ist ein erhöhter Strombedarf zu erwarten. Der Strom könnte über Photovoltaikanlagen zukunftsweisend erzeugt werden.

Hier wurde mit der Energieagentur der Regionen Kontakt aufgenommen, um in einer Kurzuntersuchung abzuklären, wie weit die Anbringung von Photovoltaikzellen an den südseitig orientierten Hallendachflächen sinnvoll und wirtschaftlich ist. Die Bewertung von technisch/wirtschaftlich möglichen Trocknungstechniken für die Lehmschicht in der Fertigung konnte mit ausreichender Eindeutigkeit in einer Modellversuchsserie anfangs 2010 geklärt werden.

Drei technische Varianten wurden in einer aufwändigen Versuchsreihe mit Kleinmodellen nach Machbarkeit und Heizenergieverbrauch für die Trocknung pro Einheit untersucht. Vorgabe von der Logistikseite her war, dass die Trocknung binnen etwa 24 Stunden möglich sein sollte.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass zwar die einfache Trocknung mit Warmluft den rund vierfachen Heizenergieverbrauch gegenüber dem effizientesten getesteten Verfahren erforderte, aber dass diese Energie aus betrieblichem Restholz und problemlos mit der bestehenden Kesselkapazitätsreserve insgesamt am kostengünstigsten abgedeckt werden könnte.

Bei der ersten regulären Produktion eines LOPAS-Hauses im großvolumigen neuen Hallenzubau zeigte sich dann, dass eine Verlängerung der zulässigen Trocknungszeit und eine intensive Durchströmung der parallel positionierten Bauteile mit Umgebungsluft ausreichende Trocknung erbringt, sodass auf Heizenergie überhaupt verzichtet werden konnte und die Feuchte über den betrieblich ohnehin erforderlichen Luftwechsel abgeführt werden kann. Die elektrische Leistung der Ventilatoren macht nur einen kleinen Bruchteil des erwarteten Heizenergieverbrauchs aus. Heizenergie konnte so im Normalfall passiv mit Umgebungsenergie durch ein erhöhtes Flächenangebot aus der vorhandenen Flächenreserve ersetzt werden!

Die Vor- und Nachteile der Trocknung der lehmbeschichteten Fertigteile in waagrechter Position gegenüber Trocknung in stehender Position wurde eingehend mit der Fertigungsplanung von Seiten Longin theoretisch diskutiert.



## **2.6. Recherche von Unterkonstruktionsmaterialien und Anbietern von Fertigungsausrüstungen**

Dieses Arbeitspaket ist in den Details der vorangeführten Arbeitspakete integriert. Bei allen Konstruktionsmaterialien wurde parallel zu den technischen Eigenschaften auch die Konstruktionsherstellung begleitend überprüft.

Die Unterkonstruktion für die Lehmbeschichtung wurde in vielen Varianten getestet. Auf Basis der Zwischenergebnisse der getesteten Materialien und Konstruktionen wurden Unternehmen mit ähnlichen Anforderungen recherchiert und kontaktiert. Es folgten Werksbesichtigungen in Österreich und im benachbarten Ausland.

## **2.7 Entwicklung von Produktionsprozessen inklusive Lager-, Verpackungs-, Liefer- und Transportlogistik**

### Vorbemerkung:

Aufgrund des maßgeblichen Einflusses der Anforderungen der ETZ auf den gesamten Entwicklungs- und Produktionsprozess wird dieser Vorgang unter AP7 angeführt.

### **2.7.1 Europäische Technische Zulassung (ETZ) für LOPAS Fertigteile**

Mit dem Ecolabor und dem OIB Wien wurden die Rahmenbedingungen für eine ETZ durchbesprochen und die Voraussetzungen, die Kosten und der Zeitraum für die Durchführung so weit möglich erhoben.

Die Zertifizierungsstelle wurde mit der Durchführung der notwendigen ETZ für LOPAS Bauteilkomponenten beauftragt. Die ETZ hat Vorteil, dass damit ein CE-Kennzeichen verbunden ist und Lopas seine Produkte europaweit exportieren kann.

### **2.7.2 Messebesuche**

Die Geschäftsführung von Longin besuchte im Februar 2010 die Messe Dach und Wand in Köln. Aufgrund der neuen Erkenntnisse wurde am 26.2. die Einrichtungsplanung der neuen Produktionshalle überarbeitet. Insbesondere ein spezieller Fertigungstisch der auf Schienen verfahrbar ist mit einer Größe von 10/14 m wurde berücksichtigt. Die Größe ergibt sich aus Dachfertigteilen die in einem Zug gefertigt werden können und danach elementiert werden, um maximale Passgenauigkeit auch bei sehr komplizierten Dachformen zu haben.

### **2.7.3 Besichtigung von Produktionsanlagen**

Es wurde die Produktionsanlage der Firma Weinmann besichtigt. Es war eine Gesamtanlage in kleinem Maßstab als funktionsfähige Anlage ausgestellt. Anhand dieser Musteranlage hat man die Möglichkeit der Fertigung von LOPAS Elementen prinzipiell ermittelt. Im Detail wurde auch besprochen, wie weit LOPAS Elemente überhaupt sinnvoll auf dieser Anlage hergestellt werden können (auch Einbringen von Lehmputz auf dieser Anlage). Es zeigte sich auch die Problematik der Verschmutzung der Anlage und die Gefahr des Rostens. Weiters wurde auch eine logistisch sinnvolle Anordnung in Bezug auf KVP (flächenoptimierte Anlagenaufstellung und arbeitsdurchlaufoptimierte Anlagenkonfiguration) besprochen.

### **2.7.4 Schematische Produktionsplanung**

Auf Basis der Recherche und Besichtigung verschiedener Anlagen wurden professionelle Planungsfirmen einer Werksfertigungsplanung kontaktiert. Longin suchte aus den vorhandenen Kontakten einen Anlagenplaner und organisierte Besprechungstermine für eine Fachberatung. Ziel einer Werksfertigung ist eine platz- und kostensparende Anlageninstallation unter gleichzeitiger Beachtung von kurzen Produktionszeiten zu erarbeiten, die durch optimierte Logistik unterstützt werden soll. Die Planungsfirma sollte auch die recherchierten Anbieter von Maschinenanlagenkomponenten untersuchen und dazu Stellung nehmen.

In Abstimmung mit der Planungsfirma wurden Produktionsprozesse definiert. Mitarbeiter aus Planung und Werksfertigung von Holzbau Longin wurden aktiv in die Planung mit einbezogen.

### 3. Ergebnisse des Projektes

Das abgeschlossene Projekt hat die gesetzten Ziele nur zum Teil erreicht. Die in den Arbeitspaketen im Antrag formulierten Meilensteine und Ergebnisse sind nach deren Zielsetzung und Paket wie folgt dargestellt:

#### **AP1:**

Die Kleinmodellversuche haben sich als effiziente und kostengünstige Variante für sich ändernde Aufbauten erwiesen. Die Ableitung für die mögliche industrielle Serienproduktion war nicht immer einfach und war in der Umsetzung teilweise auch nicht realisierbar. Die an Kleinmodellen entwickelte Verarbeitungsmethode unter Beteiligung des Produktionspersonals hat sich als sehr erfolgreiche Methode herausgestellt, da mögliche Schwierigkeiten in der weiteren Produktion vermieden werden konnten.

#### **AP2:**

Herstellen von 1:1-Wandmodellen als Vorbereitung der Serienproduktionsreife von vorgefertigten Wandelementen für Lehm-Passivhäuser. Die an diesen Modellen erreichte Verarbeitungsmethode diente als Basis für die Produktionsstättenplanung. Die Wandmodelle wurden aber größtenteils für die vielen Versuche der Strohhäckselämmversuche benutzt und zum Teil wieder vollständig demontiert. Die Erkenntnisse aus der Weiterverarbeitung von Strohhäcksel und Lehmbeschichtung waren von großer Bedeutung. Einige Erkenntnisse aus den Kleinmodellen waren bei den 1:1 Modellen nicht umsetzbar.

#### **AP3:**

Im AP 3 konnte das gesteckte Ziel, eine automatisierte Einbringtechnik in einer Prototypvariante zu entwickeln, leider nicht erreicht werden. Die Dämmstoffauswahl in der effizientesten Form hat die Ressourcenplanung völlig verändert und war hauptverantwortlich für die Projektverlängerung. Die Verarbeitungsmethode über Einblastechnik musste aus schon beschriebenen Gründen verlassen werden und die Entwicklung einer liegenden mechanischen Komprimierung des Strohhäckselämmstoffs führte zu keiner industriellen Verarbeitbarkeit. In diesem Bereich ist ein weiterführendes Projekt gestartet worden, das auf den Ergebnissen dieses Projekts aufsetzt.

#### **AP4:**

Die maschinelle Beschichtung des Biofaser-Lehmputzes ist wesentlicher Bestandteil eines integrierten Produktionsprozess eines Lehm-Passivhauses. Die Ergebnisse sind aus Sicht des Projektteams vollständig verwertbar und dienen als Basis für eine Produktionsstättenplanung für eine Serienproduktion von Lehm-Passivhäusern. Die Abhängigkeit von der Verarbeitung des Dämmstoffes als vorgelagerten Produktionsprozess lässt zum derzeitigen Zeitpunkt jedoch eine unmittelbare Umsetzung der Projektergebnisse nicht zu.

**AP5:**

Die Trocknung von vorgefertigten Wandelementen ist für einen effizienten Produktionsprozess besonders wichtig. Die Ergebnisse waren sehr erfreulich, da von einer wärmeleitenden Trockenkammer abgesehen werden kann. Die damit verbundenen Trocknungskosten in der Herstellung und im Betrieb werden dadurch deutlich günstiger sein als ursprünglich prognostiziert.

Die Zwischenergebnisse aus den Arbeitspaketen 1-5 führten zur Patenanmeldung beim Österreichischen Patentamt und wurden im Februar 2011 um eine Europäische Patentanmeldung erweitert.

**AP6:**

Die „Recherche von Unterkonstruktionsmaterialien und Anbietern von Fertigungs-ausrüstungen“ war als separates Arbeitspaket nicht zielführend, da dieser Bereich in allen vorgelagerten Arbeitspaketen integriert wurde. Eine Ableitung von Ergebnissen für dieses Paket ist isoliert nicht aussagekräftig und in den vorgelagerten Paketen abzulesen.

**AP7:**

Die Entwicklung von Produktionsprozessen inklusive Lager-, Verpackungs-, Liefer- und Transportlogistik war das erklärte Ziel des gesamten Projektes. Da ein wesentlicher Teil, die Dämmstoffeinbringung, nicht zum geplanten Ergebnis geführt hat, konnte auch dieses Arbeitspaket nicht vollständig zu Ende geführt werden. Zwar konnte der Rohstoff-Beschaffungsprozess so optimiert werden, dass bereits mit dem vorliegendem Ergebnis ein Teilziel erreicht wurde, eine vollständige Werksplanung mit automatisierten Produktionskomponenten liegt nur als Entwurf vor. Die Integration der Dämmstoffverarbeitung muss noch entwickelt werden. Eine mögliche automatisierte Serienfertigung von Lehm-Passivhäusern ist mit dem erzielten Projektergebnissen noch nicht möglich. Die erzielten Ergebnisse ermöglichen jedoch eine teilautomatisierte Produktion, die in Teilprozessen auch schon zum Einsatz gekommen ist.

## 4. Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

Die im gegenständlichen Projekt verfolgte Strategie erfüllt in mehreren Punkten die Anforderungen des Förderprogrammes. Ziel des Projektes war es, die außergewöhnlichen Ergebnisse aus dem Demonstrationsbau „HdZ Bürohaus Tattendorf“ auch mit industrieller Serienproduktion zu erreichen.

### 4.1 Einpassung in das Programm

Die im Programm verfolgten Anliegen werden wie folgt unterstützt.

#### Überleitung innovativer Technologien und Produkte zur Serien- bzw. industriellen Fertigung

Die im Programm „HdZ Bürohaus Tattendorf“ entwickelte Technologie wurde in Einzelfertigung angewandt. Die im Prototyp eingesetzten Materialien waren in der verarbeiteten Form nicht für eine Serienfertigung verwendbar und mussten durch eine Weiterentwicklung unter Berücksichtigung des gesamten Produktionsprozesses zur Serienreife gebracht werden. Mit dem Projekt wurde nicht nur die Technologie weiter entwickelt, sondern es wurde ein ganzes neues Baukonzept zur wirtschaftlichen Umsetzung entwickelt. Ziel war neben der Produktionstechnologie eine kostengünstige und energiesparende Logistik für den gesamten Beschaffungs- und Fertigungsprozess zu entwickeln. Mit dieser Projektstrategie treffen wir das im Programmheft definierte Anliegen und unterstützen die Programmlinie. Mit einem erfolgreichen Projektabschluss in wesentlichen Teilen konnte eine teilautomatisierte Produktionsplanung erfolgen.

### 4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Im Programmziel ist als zentrales Ziel wie folgt angeführt:

**Zentrales Ziel des Programms ist die Entwicklung und Markteinführung oder Marktdurchdringung wirtschaftlich umsetzbarer, innovativer technischer und organisatorischer Lösungen im Sinne eines CO<sub>2</sub>-neutralen Gebäudesektors. Damit soll bis 2020 ein signifikanter Beitrag zur Sicherheit zukünftiger Energieversorgung und zur Reduktion der treibhausrelevanten Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden.**

Mit der Lehm-Passivhaus Technologie unterstützen wir diese zentrale Anforderung zu mehr als 100%. Wie die Ergebnisse aus dem „HdZ-Bürohaus Tattendorf“ erfolgreich bewiesen haben, ermöglicht diese Technologie schon jetzt eine CO<sub>2</sub> „positive“ Herstellung, das heißt dass die in der Herstellung und beim Transport emittierten Treibhausgase überkompensiert werden. Dies wird durch den effizienten und beinahe ausschließlichen Einsatz von

organischen, nachwachsenden Baustoffen erreicht. Durch die Bindung von CO<sub>2</sub> in den Bauteilen von Lehm-Passivhäusern wird bereits in der Errichtung über die geforderte CO<sub>2</sub> Neutralität hinaus ein CO<sub>2</sub> Guthaben für den weiteren Betrieb erzielt. Durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern für den Betrieb von Lehm-Passivhäusern ist in jedem Fall über den gesamten Lebenszyklus die CO<sub>2</sub> Neutralität sichergestellt. Durch den Einsatz von lokalen Rohstoffen sind die Transportwege kurz und die Wertschöpfung großteils nahe am Produktions- und Montageort.

#### **4.3 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse**

Mit der semiindustriellen Fertigung ist ein Marktzugang möglich, der sich derzeit auf die Errichtung von Einfamilienhäusern konzentriert und bei einer zu erwartenden Weiterentwicklung auch auf den Geschosswohnbau anwenden lässt. Die durch die Technologie erreichten Vorteile für den Nutzer stoßen auf große Marktakzeptanz.

### **5. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

Die Funktionsfähigkeit der Technologie wurde im Projekt zur Gänze bestätigt. Teilergebnisse waren mitunter besser als angenommen, z.B. die Wärmeleitfähigkeitseigenschaft des Strohhäcksels. Der Basisdämmstoff Stroh in gehäckselter Form hat anscheinend enormes Potential. Die bauphysikalischen Werte sind sehr erfreulich, mögliche Umwelteinflüsse, wie Feuchtigkeit und Schimmelbefall bei ordnungsgemäßer Verarbeitung unbedenklich. Die Verarbeitung von Strohhäcksel hat jedoch in seiner Komplexität alle Projektmitglieder überrascht. Da die industrielle Verarbeitung des Strohhäcksels noch nicht gelöst ist, wurde von LOPAS ein weiteres Forschungsprojekt initiiert, indem gemeinsam mit dem Projektpartner, der Holzbau Willibald Longin GmbH und zusätzlichen Forschungseinrichtungen auf Basis der Ergebnisse weitergearbeitet wird.

## 6. Ausblick und Empfehlungen

Die im abgeschlossenen Projekt gewonnenen Erkenntnisse dienen den Projektmitgliedern für weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Ziel von LOPAS ist es die vorliegende Technologie so weiterzuentwickeln, dass sie auch zu konventionellen Bausystemen wirtschaftlich wettbewerbsfähig wird. Viele der zurzeit am Markt befindlichen Baukonzepte sind deutlich günstiger in den Herstellungskosten, ihre möglichen Folgekosten spielen aber weder bei einem Großteil der Käufer und leider schon gar nicht beim Gesetzgeber eine lenkende Rolle. Dabei hätte der Gesetzgeber, insbesondere die Bundesländer mit den Wohnbauförderungen, die Möglichkeit wirksame Lenkungseffekte in Richtung klimaschonender Bausysteme zu etablieren. Solange wir auf Kosten unserer Nachkommen wirtschaften, sind nachhaltige Technologien immer benachteiligt, da nur Teilbereiche der Lebenszykluskosten in der Errichtungsphase anfallen. Da in der derzeitigen gesamtwirtschaftlichen Situation keine Förderungswunder zu erwarten sind, wird LOPAS sich auf den ökologisch anspruchsvollen Kunden im Einfamilienhaussegment konzentrieren und die Weichen für eine mögliche Marktausweitung außerhalb Österreichs stellen.

## 7. Anhang

### Literatur:

#### **S. Geissler, K. Leitner, G. Schuster, 2005**

Untersuchung der Entwicklungspotenziale für industriell produzierte Wohnbauten. Recherche internationaler Fertigungsentwicklungen und Untersuchung möglicher Umsetzungsstrategien für die österreichische Wohnbauwirtschaft.

Energie- und Umweltforschung 13/2005, Wien

#### **R. Meingast, 2005:**

Lehm-Passiv Bürohaus Tattendorf

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 29/2005

Hrsg.: BMVIT Wien 2005

#### **R. Meingast, 2005:**

Bauteilentwicklung für Lehm – Passivhäuser

Hrsg.: BMVIT Wien 2005

**H. Mötzl, C. Pladerer, 2010:**

Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung  
bmvit, Schriftenreihe 28/2010

**W. Wagner, F. Mauthner (2008):**

Energetische, baubiologische und nutzerspezifische Begleituntersuchung zu innovativen Baukonzepten, der im Rahmen der HAUS DER ZUKUNFT umgesetzten Projekte.

AEE-Institut für nachhaltige Technologien, Gleisdorf