

# **PRO LEHM**

**Verfahrensentwicklung zur Herstellung von Lehmbausteinen unterschiedlicher Größe,  
unterschiedlichen Schichtaufbaus und Gewichts als großformatige Systemlehmsteine.**

## **Abschlussbericht**

für das Projekt

AZ 22955

gefördert durch die

**Deutsche Bundesstiftung Umwelt**

von

*Marius Bierig*

Langballig, 9.Juni 2008



Az	<b>22955</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>57.814,00</b>
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

**Antragstitel**      **Verfahrensentwicklung zur Herstellung von Lehmbaustoffen unterschiedlicher Größe, unterschiedlichen Schichtaufbaus und Gewichts als großformatige Systemlehmsteine**

**Stichworte**      Ökobau, Baustoff, Bauteil

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>36 Monate</b>	<b>25.4.2005</b>	<b>30.4.2008</b>	<b>1</b>

Förderbereich 2004 -	I.3.2	Umwelttechnik
Architektur und Bauwesen		
<b>Ressourcen schonende Bauweisen und – produkte</b>		

Zwischenberichte	Erster Zwischenbericht vom Januar 2006	Zweiter Zwischenbericht vom November 2006	Dritter Zwischenbericht vom Juni 2007
------------------	---	--	--

<b>Bewilligungsempfänger</b>	PRO LEHM	Tel	04636/976630
	Bäckerkoppel 10a	Fax	04636/976632
	24977 Langballig	Projektleitung	
		Marius Bierig	
		Bearbeiter	

**Kooperationspartner**      Ziegelei Benzin

### ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Seit einigen Jahren steigt spürbar die Nachfrage nach Baustoffen aus Lehm. Um die Nachfragesituation weiter zu stärken, ist es wichtig, Lehmbaustoffe und Ausbaukonzepte auf dem Markt anzubieten, die mit den konventionellen Produkten preislich konkurrieren. Ziel dieses Projektes ist es einen großformatigen Lehmstein zu entwickeln, mit dem man in der Lage ist, Innenwände aus Lehm zu vergleichbaren Kosten zu erstellen wie Innenwände aus konventionellen anderen Baustoffen. Dies ist nur möglich durch die Entwicklung eines Systemlehmsteines der rationell hergestellt wird und die Anzahl der Arbeitsschritte für die Erstellung einer Innenwand reduziert. Neben diesen ökonomischen Aspekten sollen dabei die ökologischen Vorteile des Baustoffes Lehm erhalten bleiben. Dies kann eine moderne, handwerklich ausgerichtete Manufaktur erreichen und umsetzen.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Das Projekt gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

1. Aufbau einer solaren Trocknungsanlage für großformatige Lehmsteine
2. Entwicklung der einzelnen Arbeitsschritte wie Materialbeschaffung, Materialaufbereitung, Produktion Trocknung und Lagerung
3. Durchführung von Testproduktionen mit unterschiedlichen Arbeitsabläufen und Lehmmischungen
4. Verbau der Testproduktionen unter realen Umständen
5. Entwicklung von innerbetrieblichen Qualitäts- und Vergleichstestes
6. Erhebung produktionstechnischer Daten
7. Auswertung und Dokumentation der erhobenen produktionstechnischen Daten
8. Entwicklung eines Vermarktungskonzeptes
9. Durchführung von Lehrgängen und Seminaren

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Die **Ergebnisse** unserer Arbeit sind entsprechend den einzelnen Arbeitsschritten dargestellt:

### ***Die Beschaffung der Rohlehme***

Die verarbeiteten Rohlehme kamen fast ausschließlich aus der Region Angeln. Neben Lehmhinsen in örtlichen Kiesgruben bekamen wir Lehmhöden angefahren von Straßenbau- und von Hausbauaktivitäten. Es gab genügend Rohlehm zu fast jeder Zeit in unserer Region.

### ***Die Aufbereitung der Rohlehme zu Produktionslehm***

Wir haben uns auf das Nasslehmverfahren spezialisiert und konnten praktisch aus ganz unterschiedlichen Rohlehmern hervorragende Produktionslehme herstellen. Am Anfang des Projektes erkannten wir sehr schnell, dass das Aufrühren der Rohlehme in handelsüblichen Zwangsmischern nicht möglich ist. Deshalb bauten wir einen Zwangsmischer mit horizontaler Mischachse und kommen seitdem mit dem Aufrühren der Rohlehme sehr gut zurecht. Die aufbereiteten Rohlehme werden in Schlammcontainern bis zur Weiterverarbeitung zwischengelagert.

### **Die Herstellung der verschiedenen Produktionslehmmischungen**

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Lehmschlämme mit Sanden und Leichtlehmzuschlägen vermischt und somit die verschiedenen Lehmmischungen für die mehrschichtigen Lehmsteine hergestellt.

### ***Die Herstellung der großformatigen Lehmsteine***

Wir haben die unterschiedlichen Produktionslehmmischungen im Handstrichverfahren zu mehrschichtigen Lehmsteinen verarbeitet. Wir testeten unterschiedliche Produktionskonzepte und legten drei verschiedene großformatige Lehmsteintypen fest: das Kernelement, der einseitig verputzte Lehmstein und der zweiseitig verputzte Lehmstein. Alle Lehmsteine wurden in einem zusätzlichen Arbeitsschritt entlang der Lagerfugen nachgeschnitten.

### **Trocknung der großformatigen Lehmsteine**

Wir verglichen drei unterschiedliche Trocknungssysteme. Beide solar unterstützte Trocknungskonzepte, die Unterdachlufttrocknung und die Aufdachkollektortrocknung entsprachen nicht den Erwartungen. Die Trocknungszeiten dieser zwei solaren Trocknungssysteme zeigten im Vergleich zur Freilufttrocknung kaum einen Unterschied. Zum Ende des Projektes entwickelten wir ein anderes Trocknungskonzept, basierend auf Luftentfeuchter in einer geschlossenen Trocknungskammer und werden an diesem Konzept weiterarbeiten.

### **Lagerung und Verpackung der großformatigen Lehmsteine**

Sobald die großformatigen Lehmsteine trocken sind, werden sie von den Trocknungsregalen abgenommen und entlang der Lagerfugen nachgeschnitten. Dies ist erforderlich, um beim Mauern weniger Schwierigkeiten zu haben. Die Lehmsteine werden auf handelsübliche Europaletten gestapelt und mit Folie wetterfest verpackt.

### **Verbau der großformatigen Lehmsteine**

Ab 2006 setzten wir die großformatigen Lehmsteine bei verschiedenen Bauvorhaben ein. Wir sammelten dadurch Erfahrungen in der Praxis und konnten die Vor- und Nachteile unseres Systems erkennen. Verbesserungen wurden sofort in der Produktion umgesetzt. Auf diesem Weg entstand ein anwendungsstabiles, rationelles und zeitgemäßes Lehmsteinbaukonzept. Wir entwickelten Lehmsteine für Innenwände, Außenwände und Fußböden.

### ***Diskussion der Ergebnisse***

In allen Arbeitsschritten erreichten wir zufriedenstellende Ergebnisse. Wir sind nun in der Lage, für jede Baustellensituation den richtigen Lehmstein zu produzieren. Diese Individualisierung der Produktion ist gegenüber den industriell hergestellten Lehmsteinen ein sehr großer Vorteil. Im Kostenvergleich zu den konventionell verwendeten großformatigen Mauersteinen liegen die PRO LEHM Systemverbundsteine fast gleich auf. Nur die Trocknung der großformatigen Lehmsteine ist noch nicht zufriedenstellend gelöst.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

In der letzten Projektphase wurden folgende Aspekte bearbeitet:

- Erstellung eines technischen Merkblattes über die großformatigen Systemlehmsteine
- Informationsfaltblatt über die großformatigen Systemlehmsteine
- Geplant sind Infoveranstaltungen und die Teilnahme an der Nord Bau

## ***Fazit***

Im Bereich der Aufbereitung von Rohlehmern zu hochwertigen Lehmstoffen konnten wir durch dieses Projekt entscheidende Schritte in die richtige Richtung tun. In Zukunft wird es immer entscheidender, dass Baustoffe in einer Region für die Region hergestellt werden. Dieser wirtschaftliche Vorteil wird immer mehr in den Vordergrund rücken, besonders durch die steigenden Energiepreise, und dem Konzept der kleinhandwerklichen Herstellung Rückenwind geben.

## Inhaltsangabe

	Seite
<b>I. Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>II. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>III. Hauptteil</b>	<b>4</b>
<b>1. Projektbeginn und -dauer</b>	<b>4</b>
<b>2. Projektgliederung</b>	<b>4</b>
<b>3. Zielsetzung des Vorhabens</b>	<b>4</b>
<b>4. Das PRO LEHM Produktionskonzept zur Herstellung großformatiger Lehmsteine</b>	<b>4</b>
<b>4.1. Die Rohstoffe</b>	<b>4</b>
<b>4.1.1 Lehm</b>	<b>4</b>
<b>4.1.2. Zuschlagsstoffe</b>	<b>5</b>
<b>4.2. Die Aufbereitung der Rohstoffe</b>	<b>5</b>
<b>4.2.1. Der optimale Rohlehm</b>	<b>5</b>
<b>4.2.2. Die Aufbereitung der Rohlehme zu Produktionslehm</b>	<b>5</b>
<b>4.2.3. Herstellung von Lehmlähton- und Lehmputzmischungen</b>	<b>7</b>
<b>5. Die Herstellung der großformatigen Systemlehmsteine</b>	<b>7</b>
<b>5.1 Die drei Grundtypen und Sonderformate</b>	<b>7</b>
<b>5.1.1. Grundtyp 1: Das Kernelement ( Kelement )</b>	<b>7</b>
<b>5.1.2. Grundtyp 2: Das einseitig verputzte Kernelement (EVKelement )</b>	<b>8</b>
<b>5.1.3. Grundtyp 3: Das zweiseitig verputzte Kernelement ( ZVKelement )</b>	<b>8</b>
<b>5.1.4. Drei weitere Lehmsteinkonzepte ( Sonderformate und -konzepte )</b>	<b>9</b>
<i>Der Kreuzstein</i>	
<i>Lehmstein aus zwei Hälften</i>	
<i>Mehrschichtige Lehmverbundsteine</i>	
<b>5.2. Die mineralischen Basismischungen</b>	<b>10</b>
<b>5.3. Die einzelnen Schritte der Herstellung</b>	<b>10</b>
<b>5.4 Trocknung der großformatigen Lehmsteine</b>	<b>12</b>
<i>Die solar unterstützte Unterdachrocknung</i>	
<i>Die solar unterstützte Aufdachkollektortrocknung</i>	
<i>Die Freilufttrocknung</i>	
<i>Kammertrocknung mit Luftentfeuchter</i>	
<b>5.5. Das Nachschneiden der Lagerfugen</b>	<b>13</b>
<b>5.6. Das Lagern und Verpacken der großformatigen Lehmsteine</b>	<b>14</b>
<b>5.7. Der Verbau der großformatigen Lehmsteine</b>	<b>14</b>
<i>Das Innenwandkonzept</i>	
<i>Das Außenwandkonzept</i>	
<i>Das Fußbodenkonzept</i>	
<b>6. Resultate der Datenerhebungen</b>	<b>17</b>
<b>6.1. Die mineralischen Mischungen</b>	<b>17</b>
<i>Lehmschlämme</i>	
<i>Lehmputze</i>	
<i>Blähton</i>	
<i>Die Produktionsmischungen</i>	
<b>6.2. Mischungen mit organischen Zuschlägen</b>	<b>18</b>
<b>6.3. Der Aufschlammtest</b>	<b>18</b>
<i>Ablauf</i>	
<i>Interpretation der Ergebnisse</i>	
<i>Resümee</i>	
<i>Erstes Resultat: die Mischtable für Lehmputze</i>	

<b>7. Vergleich zwischen konventionellen Innenwänden und der Lehmsteinwand</b>	<b>20</b>
<b>8. Geplante Vermarktungsaktivitäten</b>	<b>21</b>
<b>9. Danksagung</b>	<b>21</b>
<b>IV. Fazit</b>	<b>22</b>

#### **Anhang**

Anhang 1 : **PRO LEHM**, Technisches Merkblatt: Der großformatige Systemlehmstein

Anhang 2 : **PRO LEHM** Falblatt: Der großformatige Systemlehmstein

## Verzeichnis von Bildern, Tabellen und Anhang des Hauptteils

	Seite
	<b>Bilder</b>
Bild 1: Lehmaushubstelle für eine Pflanzenkläranlage	4
Bild 2: Rohlehm wird in Vorschlämmcontainern eingesumpft	5
Bild 3: Der eingeweichte Rohlehm wird von den Vorschlämmcontainern in einen Zwangsmischer gefüllt und dort zu einer homogenen Schlämme aufgerührt	6
Bild 4: Blick in den Zwangsmischer	6
Bild 5: Siebung der Rohlehmschlämme	6
Bild 6: Steinfreie Produktionslehmschlämme	7
Bild 7: Das monolithische Kernelement	8
Bild 8: Das zweiseitig verputzte Kernelement	8
Bild 9: Der Kreuzstein	9
Bild 10: Lehmvollstein aus zwei Hälften	9
Bild 11: Lehmstein aus 7 Schichten und vier verschiedenen Materialien	10
Bild 12: Anlagen der Produktionsunterlegplatte und Auflegen der Folie	10
Bild 13: Aufsetzen der Produktionsform	11
Bild 14: Auffüllen der Form und Abreiben der Oberfläche	11
Bild 15: Abziehen der Produktionsform und Ablegen im Wasserbad	11
Bild 16: Befüllen der Regale mit frisch produzierten Lehmsteinen	12
Bild 17: Nachgeschnittene Lagerfuge der großformatigen Lehmsteine	13
Bild 18: Die Lehmsteine können auf handelsüblichen Europaletten verpackt werden	14
Bild 19: Erstellen von Innenwänden mit großformatigen Lehmsteinen	14
Bild 20: Erstellen von Innenwänden mit den zweiseitig verputzten Kernelementen	15
Bild 21: Die trockenen Lehmwände werden mit Lehmputz verputzt	15
Bild 22: Detaillösung für die Befestigung von wandhängenden Toiletten	15
Bild 23: Außenwände monolithisch aus Lehmsteinen	16
Bild 24: Außenwände mit Lehm verputzt	16
Bild 25: Benötigte Gerätschaften für den Aufschlammtest	18
Bild 26: Einsinkinstrument mit einem Eigengewicht von 150 g	19
Bild 27: Das Einsinkgewicht wird auf die aufbereitete Schlämme aufgesetzt und losgelassen	19
Bild 28: Fertig verputzte Lehmwände aus großformatigen Lehmsteinen	20
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1: Wasseranteil an der Schlämme	17
Tabelle 2: Technische Daten der Produktionslehmmischungen	17
Tabelle 3: Technische Daten der Mischungen mit organischen Zuschlägen	18
Tabelle 4: Mischtablette für Lehmputze	18
Tabelle 5: Preisvergleich einer konventionell erstellten Innenwand mit einer Innenwand aus Lehmsteinen	21
<b>Grafik</b>	
Grafik 1: Vernetzungsebene der drei wichtigsten Baukreisläufe	22

## I. Zusammenfassung

Die steigende Nachfrage nach Lehmbaumaterialien erfordert, dass neue Produkte im Lehmbaumaterialien-Sektor entwickelt werden, die ökonomisch und ökologisch mit den konventionell verwendeten Baumaterialien konkurrieren können. **PRO LEHM** entwickelte mit Hilfe der Unterstützung der **DBU** ( AZ 22955 ) einen großformatigen Lehmstein, der in einer kleinhandwerklich ausgerichteten Manufaktur produziert wird.

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- die Aufbereitung der Rohlehme zu Produktionslehm
- Bau eines Horizontalmischers in Kooperation mit der **Ziegelei Benzin**.
- die Verarbeitung der verschiedenen Produktionslehm zu großformatigen Systemlehmsteinen
- die Trocknung der großformatigen Lehmsteine
- der Verbau der großformatigen Lehmsteine

Zusätzlich wurden produktionstechnische Daten gesammelt und ausgewertet. Die Resultate der Datenerhebungen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- der Wasseranteil an den Rohlehmschlämmen variiert zwischen 20 und 35 %
- das spezifische Rohgewicht kann zwischen 1450 und 800 kg/m<sup>3</sup> eingestellt werden
- die Ausgangsfeuchte der Lehmsteine schwankt zwischen 16 und 22 %
- die Trocknungszeit bei der Freilufttrocknung liegt zwischen 3-5 Wochen
- die Verarbeitungszeit pro m<sup>2</sup> Wandfläche liegt bei 35-45 Minuten

Im weiteren wurde ein einfacher Aufschlammtest weiterentwickelt. Mit Hilfe dieses Versuches können in relativ kurzer Zeit folgende Daten ermittelt werden:

- Bestimmung des Steinanteiles
- Bestimmung des Tonanteiles und der Tonart
- Genaue Mischangaben für die Herstellung von Lehmputzen und Lehmsteinen möglich

Ein abschließender ökonomischer Vergleich zwischen konventionellen Innenwänden und der **PRO LEHM** Lehmsteinwand brachte folgende Ergebnisse:

- der Arbeitsaufwand zum Erstellen einer Innenwand zwischen konventionellen Baumaterialien und einer Innenwand aus Lehmbaumaterialien ist etwa gleich
- Die Gesamtkosten zum Erstellen einer Innenwand sind fast gleich. ( 103-110 €Kosten einer konventionellen Innenwand, 112 €Kosten einer **PRO LEHM** Innenwand aus großformatigen Lehmbaumaterialien )

Neben den produktionstechnischen Kennwerten wurden folgende Aspekte durch die kleinbetriebliche Herstellung erreicht:

- arbeitsplatzschaffend in der Region
- energieintensiv
- emissionsfrei
- sehr flexibles Produktionskonzept und einstellbar auf individuelle Verbrauchervünsche
- ökonomische Konkurrenzfähigkeit
- hohe Produktqualität
- hohes Umsetzungspotential von Innovationen
- ökologische, hervorragende Produktionskennwerte

Dies sind hervorragende ökonomische und ökologische Kennwerte und machen deutlich welches Zukunftspotential in der kleinbetrieblichen Herstellung von Lehmbaumaterialien liegt. Dieses Herstellungs-konzept wird **PRO LEHM** konsequent weiterentwickeln mit dem Ziel ein eigenständiges Lehmhauskonzept in Zukunft auf dem Markt anbieten zu können.

## II. Einleitung

Das Unternehmen **PRO LEHM** ist 1993 gegründet worden. Herr Marius Bierig, Geschäftsführer von **PRO LEHM** in Langballig, hat sich im Vorfeld während Auslandsaufenthalten (langjährige Tätigkeit in der Entwicklungshilfe) u.a. in Äthiopien auch praktisch in die Nasslehmtechnologie eingearbeitet mit dem Ziel, diese für den europäischen Standard wieder zu entdecken und zu etablieren.

Unternehmenszweck ist die Anwendung und Weiterentwicklung des Baustoffes Lehm in ihrer Vielfalt und in unterschiedlichsten Fassetten. **PRO LEHM** hat in den letzten Jahren ein funktionierendes, kleinbetrieblich organisiertes Produktionskonzept entwickelt und praxisreif eingeführt. Ziel ist es, einen umweltverträglichen und gesundheitsfreundlichen Baustoff zu präsentieren und diesen, am Markt orientiert, zu entwickeln.

**PRO LEHM** hat bereits Erfahrungen in der Projektentwicklung bei der Herstellung einer Lehmbauplatte (gefördert durch Landesmittel des Landes Schleswig-Holstein – Produkt-Innovation, ttz SH) und in der Nutzung von Lehmputzen, die mit natürlichen Pigmenten angereichert ein breites Farbspektrum bieten.

Seit einigen Jahren steigt spürbar die Nachfrage nach Baustoffen aus Lehm. Der Lehmsteinbau als auch Lehmputze sind traditionell die am stärksten nachgefragten Lehmbautechniken. Zurzeit werden auf dem Markt von mehreren industriell orientierten Produzenten hauptsächlich kleinformatische Lehmsteine angeboten. Je nach Herstellungsweise unterscheidet man zwischen Grünlingen (ungebrannte Ziegel) und Lehmsteinen. Nachteilig auf das Gesamtkostengefüge einer massiven Lehmsteinwand wirkt sich, bedingt durch die kleinen Formate, der relativ hohe Arbeitsanteil aus. Um gegenüber den konventionellen großformatigen Massivbaustoffen (Kalksandstein, Porenbeton, Poroton) konkurrenzfähig zu werden, ist es von entscheidender Bedeutung, großformatige Lehmsteine auf dem sich stark entwickelnden Lehmbaumarkt anzubieten.

Zumal ist die heutige industrielle Herstellung von Lehmsteinen dadurch geprägt, dass die Lehmsteine hauptsächlich über Hochdruckpressen produziert werden. Diese extrem hohe Verdichtung hat negative Einflüsse auf die raumklimabeeinflussende Wirkkraft der Lehmsteine. Zudem ist auch mehr und mehr festzustellen, dass Lehmstoffe von großen Herstellern im Ausland produziert und oft über Hunderte von Kilometern transportiert werden, ehe sie Ihren Einsatz in einem Bauablauf finden. Die ökologischen und energietechnischen Vorteile gehen dabei mehr und mehr verloren.

Diesem Trend will **PRO LEHM** mittels einer gut entwickelten, lokalen, standortbezogenen und ökonomisch attraktiven Produktionsweise entgegenwirken. Ein wichtiger und zentraler Entwicklungsschritt stellt dabei die Herstellung von großformatigen Systemlehmbausteinen dar.

Basierend auf einer über 10 jährigen Erfahrung in der kleinbetrieblichen Herstellung von Lehmsteinen sieht **PRO LEHM** in der Produktion von großformatigen, mehrschichtigen Systemlehmsteinen die Zukunft im Lehmsteinbau.

Folgende Kennwerte wurden durch das Projekt erreicht:

### **Aufbau regionaler Rohstoff- und Wirtschaftskreisläufe:**

- Verarbeitung regionaler Lehme
- regionale Vermarktung
- dadurch Verbrauch von minimaler Energie, da die Transportwege sehr gering sind und die Trocknung nicht künstlich, sondern durch die natürliche Lufttrocknung geschieht.
- Schaffung von Arbeit in strukturschwachen ländlichen Regionen
- Schaffung von Kaufkraft und Zirkulation von Kapital auf regionaler Ebene
- Erweiterung der Produktion über Gründung von weiteren Kleinbetrieben ohne hohen Kapitalaufwand möglich

### **Rohstoffbeschaffung**

Durch die Art und Weise, wie **PRO LEHM** Lehmsteine herstellt, können fast alle anfallenden Rohlehme in der Produktion Verwendung finden. Dies wird in den nächsten Jahrzehnten immer wichtiger, da die Ressourcen durch einen lokalen extrem hohen Mengenabbau durch die moderne hochrationalisierte Ziegelindustrie immer knapper werden. **PRO LEHM** kann Rohlehme in die Produktion einbinden, die in der Industrie nicht verwendbar sind.

### **Eigenschaften des großformatigen Lehmsteines:**

- gut verarbeitbar
- gut handhabbar (um 1000 kg/m<sup>2</sup>)
- gut trennbar
- stabiles Mauergefüge

### **Generell sind folgende Kennwerte der kleinbetrieblichen Herstellung von Lehmstoffen durch PRO LEHM hervorzuheben:**

- arbeitsplatzschaffend
- energieextensiv
- emissionsfrei
- sehr flexible und auf individuelle Verbraucherwünsche einstellbare Produktion
- ökonomische Konkurrenzfähigkeit zur Herstellung von Lehmstoffen
- hohe Produktionskapazität durch nicht verdichtende Produktionsprozesse
- hohes Umsetzungspotential von Innovation

Das Know-how, das mit diesem Projekt für das Unternehmen generiert wird, soll in den Produktionsprozess münden und so ein neues Geschäftsfeld von PRO LEHM aufbauen. Dieses Projekt soll die Grundlage sein, um großformatige Lehmsteine am Markt konkurrenzfähig zu etablieren. Diese Art der Steine wird dann später Grundlage für weitere Entwicklungen und den Ausbau des Unternehmens bieten. Dadurch werden Arbeitsplätze geschaffen und gesichert.

### **III: Hauptteil**

#### **1. Projektbeginn und -dauer**

Am 25.4.2005 wurde unser Projektantrag zur Entwicklung eines großformatigen Lehmsteines von der DBU angenommen. Am 5.5.2005 begannen wir mit den vorbereitenden Projektarbeiten. Die einzelnen Arbeitsbereiche des Projektes wurden in der Zeitspanne vom Mai 2005 bis April 2008 durchgeführt und im Juni 2008 abgeschlossen.

#### **2. Projektgliederung**

Das Gesamtprojekt wurde in 9 Arbeitsschritte unterteilt. Alle Arbeitsschritte wurden durchgeführt und in den drei erstellten Zwischenberichten vom Januar 2006, November 2006 und Juni 2007 beschrieben. In diesem Abschlussbericht wird das entwickelte Produktionskonzept im Gesamten dargestellt. Es wurden während der gesamten Projektzeit zahlreiche Versuche durchgeführt und Daten ermittelt. Die Ergebnisse werden in diesem Arbeitsbericht dargestellt und erläutert.

#### **3. Zielsetzung des Vorhabens**

Ziel dieser Projektarbeit war es einen großformatigen Lehmstein zu entwickeln, der konkurrenzfähig zu anderen konventionellen großformatigen Mauersteinen ist. Wir variierten alle möglichen Produktionsparameter und verglichen unterschiedliche Produktionsstrategien miteinander und ermittelten so im Laufe der Projektdurchführung das optimale Produktionskonzept. Im Weiteren wird dieses Produktionskonzept beschrieben.

#### **4. Das PRO LEHM Produktionskonzept zur Herstellung großformatiger Lehmsteine**

##### **4.1. Die Rohstoffe**

###### **4.1.1 Lehm**

Rohlehm wurde hauptsächlich aus der Region ( Lehmlinsen aus Kiesgruben, Aushublehm von verschiedenen Bauvorhaben ) gewonnen.



Bild1: Lehmaushubstelle für eine Pflanzenkläranlage

Wir arbeiteten gezielt mit sehr unterschiedlichen Lehmsorten, um den Einfluss der verschiedenen Lehmarten auf das Lehmaufbereitungsverfahren zu erkennen. Die angefahrenen Rohlehme wurden im Freien gelagert.

#### **4.1.2. Zuschlagsstoffe**

Wir arbeiteten mit mineralischen und organischen Zuschlagsstoffen. Die Art der Zuschlagsstoffe hat einen großen Einfluss auf die Eigenschaften der großformatigen Lehmsteine. Getestet wurden folgende Zuschlagsstoffe:

Mineralische Zuschlagsstoffe: Blähton, Blähglas, Sand

Organische Zuschlagsstoffe: Stroh, Holzspäne, Sägemehl und Seegras

### **4.2. Aufbereitung der Rohstoffe**

#### **4.2.1. Der optimale Rohlehm**

Damit die Lehmaufbereitung schnell, energiesparend, arbeitsexpensiv und maschinenschonend ist, soll der Rohlehm folgende Eigenschaften aufweisen:

- möglichst steinfrei
- nicht zu fett und nicht zu mager ( Tonanteil um 20% )
- krümelige Struktur in erdfeuchtem Zustand

#### **4.2.2. Die Aufbereitung der Rohlehme zu Produktionslehm**

Die Verarbeitung von Rohlehm zu Produktionslehm gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

a. Lagerung der Lehme auf dem Betriebsgelände.

b. Aufnahme des Rohlehmes mit einem Frontlader und Auffüllen der Vorschlämmcontainer.

In diesen Containern wird der Rohlehm eingesumpft.



Bild 2: Rohlehm wird in Vorschlämmcontainer eingesumpft

c. Aufnahme der Vorschlämmcontainer mit einem Gabelstapler und Umfüllen des eingesumpften Rohlehmes in einen Zwangsmischer.

d. Aufrühren des aufbereiteten Rohlehm im Zwangsmischer.



Bild 3: Der eingeweichte Rohlehm wird von den Vorschlämmtainern in einen Zwangsmischer gefüllt und dort zu einer homogenen Schlämme aufrührt



Bild 4: Blick in den Zwangsmischer

e. Nach dem Aufrühren läuft die Rohlehm Schlämme über eine Siebanlage.



Bild 5: Siebung der Rohlehm Schlämme

f. Die gesiebte, jetzt steinfreie Produktionslehmschlämme wird in speziellen Containern aufgefangen und steht zur Weiterverarbeitung bereit.



Bild 6: Steinfreie Produktionslehmschlämme

#### **4.2.3. Herstellung von Lehmblähton- und Lehmputzmischungen**

Ausgehend von der steinfreien Produktionslehmschlämme werden die notwendigen Mischungen für die Produktion von großformatigen Lehmsteinen hergestellt. Um die drei verschiedenen Typen von großformatigen Lehmsteinen herstellen zu können, benötigt man zwei Basismischungen.

Komponenten der Lehmblähtonmischung: steinfreie Produktionslehmschlämme, gewaschener 02 Sand und 4-8 mm Blähton

Komponenten der Lehmputzmischung: steinfreie Produktionslehmschlämme und 02 gewaschener Sand

Diese Mischungen für die Produktion wurden in einem handelsüblichen Zwangsmischer hergestellt. Nach dem Mischvorgang werden die Mischungen in Produktionscontainer umgefüllt und mit dem Gabelstapler zum Produktionsplatz gefahren.

### **5. Die Herstellung der großformatigen Systemlehmsteine**

#### **5.1 Die drei Grundtypen und Sonderformate**

In den ersten Monaten produzierten wir viele unterschiedliche großformatige Lehmsteine. Wir variierten die Größe, die Mischungen und die Art und Weise der Produktion. Nach etlichen Versuchsdurchläufen entschieden wir uns für drei Grundtypen.

##### **5.1.1. Grundtyp 1: Das Kernelement ( Kelement )**

Das Kernelement besteht aus der Lehmblähtonmischung. Es wird in einem Arbeitsschritt produziert. Das spezifische Gewicht kann zwischen 800kg/m<sup>3</sup> und 1450kg/m<sup>3</sup> durch die Lehmblähtonmischung eingestellt werden.

Einsatzbereich: monolithische Außenwände und Innenwände in Stärken von 10-50 cm.



Bild 7: Das monolithische Kernelement

### **5.1.2 Grundtyp 2: Das einseitig verputzte Kernelement (EVKelement )**

Das einseitig verputzte Kernelement besteht aus dem Kernelement und einer einseitigen Lehmputzaufgabe. Dieses Element wird in einem Arbeitsschritt hergestellt. Zuerst wird die Lehmblähtonmischung in die Produktionsform gegeben und darauf eine etwa 1-1,5 cm dicke Lehmputzschicht.

Einsatzbereich: Lehmvorsatzschale von Außenwänden in Kombination mit einer Innendämmung.

### **5.1.3. Grundtyp 3: Das zweiseitig verputzte Kernelement ( ZVKelement )**

Das zweiseitig verputzte Kernelement besteht aus drei Schichten und wird in einem Arbeitsgang hergestellt. Zuerst wird in die Produktionsform eine etwa 1,5 cm starke Lehmputzschicht eingebracht. Danach wird die Form mit der Lehmblähtonmischung aufgefüllt und zum Schluss wird nochmals als Abschluss eine 1,5 cm starke Deckschicht aus Lehmputz aufgetragen.

Einsatzbereich: Innenwände, 10-13cm stark



Bild 8: Das zweiseitig verputzte Kernelement

#### 5.1.4. Drei weitere Lehmsteinkonzepte ( Sonderformate und -konzepte )

##### *Der Kreuzstein*

Um das Mauern gerade für Selbstbauer zu erleichtern, entwickelten wir den sogenannten großformatigen Kreuzstein. Mit Hilfe dieses Elementes kann man ohne Richtschnur Wände aufmauern. Wir werden diese Idee weiter verfolgen und bei kleineren Bauvorhaben testen.



Bild 9: Der Kreuzstein

##### *Lehmstein aus zwei Hälften*

Um die Trocknungszeiten zu optimieren, produzierten wir halbe Lehmsteinhälften und verklebten sie in trockenem Zustand mit Lehmputz zu einem Lehmvollstein. Auch dieses Konzept werden wir weiter verfolgen.



Bild 10: Lehmvollstein aus zwei Hälften

##### *Mehrschichtige Lehmverbundsteine*

Wir begannen Lehmsteine zu produzieren, die aus mehreren Schichten und verschiedenen Materialien bestehen. Es werden mehrere Funktionen in einem Lehmstein erfüllt. Auch in diese Richtung werden wir intensiv weiterarbeiten und weitere Testproduktionen durchführen.



Bild 11: Hier wurde ein Lehmstein aus 7 Schichten produziert und vier verschiedene Materialien wurden miteinander verbunden.

## 5.2. Die mineralische Basismischungen

Wir testeten unterschiedliche Lehmsorten und unterschiedliche Zuschlagsstoffe. Da die Trocknungszeit relativ lange ist, haben wir uns auf rein mineralische Mischungen konzentriert. Dadurch ist gewährleistet, dass sich während der Trocknungszeit und dem späteren Verbau kein Schimmel bilden kann. Die Festigkeit von großformatigen Lehmsteinen kann wesentlich erhöht werden, wenn organische Materialien wie gehäckseltes Stroh oder Sägespäne zugegeben werden. Die Gefahr der Schimmelbildung während der Trocknungszeit ist jedoch immer gegeben. Deshalb schlossen wir organische Zuschlagsstoffe kategorisch aus.

## 5.3. Die einzelnen Schritte der Herstellung

Von Anfang an produzierten wir die großformatigen Lehmsteine im Handstrichverfahren. Dies ermöglicht das schichtenweise Einbringen von unterschiedlichen Materialien, und über die nicht verdichtende Produktionsweise wird eine hervorragende Bauphysik erreicht. Entscheidend für eine rationelle Produktion sind ein ergonomisch gut eingerichteter Arbeitsplatz und Arbeitserfahrung im Handstrichverfahren.

1. Schritt: Anlegen der Produktionsunterlegplatte und Auflegen der Folie zwischen Unterlegplatte und der Produktionsform



Bild 12: Anlegen der Produktionsunterlegplatte und Auflegen der Folie



Bild 13: Aufsetzen der Produktionsform

2. Schritt: Waschen und Aufsetzen der Produktionsform auf die Unterlegplatte



Bild 14: Auffüllen der Form und Abreiben der Oberfläche

3. Schritt: Auffüllen der Form mit den Produktionslehmischungen und Abreiben der Oberfläche

4. Schritt: Abziehen der Produktionsform und Ablegen der Produktionsform im Wasserbad



Bild 15: Abziehen der Produktionsform und Ablegen im Wasserbad

5. Schritt: Aufnehmen des frisch produzierten Lehmsteines mit der Produktionsunterlegplatte und Abstellen im bereitstehenden Trocknungsregal



Bild 16: Befüllen der Regele mit frisch produzierten Lehmsteinen

#### **5.4 Trocknung der großformatigen Lehmsteine**

Entscheidend für eine rationelle Produktion ist eine kurze Trocknungszeit. Wir testeten verschiedene Trocknungskonzepte und stellten Folgendes fest:

##### *Die solar unterstützte Unterdachtrocknung*

Im ersten Schritt bauten wir eine Trocknungskammer für 5 Trocknungsregale. Am Ende der Trocknungskammer installierten wir zwei große Stallentlüfter. Diese Ventilatoren erzeugten einen Unterdruck, und am anderen Ende der Trocknungskammer wurde Luft aus der Trocknungshalle unter Dach angesaugt. Das Trapezblechdach erwärmt sich durch die Sonneneinstrahlung, und die Luft unterhalb der Bleche nimmt diese Wärme teilweise auf. Diese erwärmte Luft unter Dach wird von den Ventilatoren angesaugt und durch die Trocknungskammer gezogen. Dabei wird den nassen Lehmsteinen die Feuchtigkeit entzogen.

Fazit:

Dieses System konnten wir nur tagsüber laufen lassen, da nachts die Luft innerhalb der Produktionshalle kaum Feuchtigkeit aufgenommen hat. Außerdem stellte sich heraus, dass der Stromverbrauch für die Ventilatoren sehr groß war. Wir hatten gegenüber der Freilufttrocknung kaum einen zeitlichen Vorteil, und bei schlechtem Wetter war auch tagsüber kein Unterschied zur Freilufttrocknung.

##### *Die solar unterstützte Aufdachkollektortrocknung*

In einem zweiten Schritt bauten wir auf dem Dach Solarkollektoren in denen die Luft über Dach direkt von der Sonne angewärmt und durch die Trocknungskammer gezogen wurde.

Fazit:

Dieses System arbeitete etwas besser, aber auch bei schlechtem Wetter war die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und der durch die Kollektoren erwärmte Luft zu gering, um einen deutlichen zeitlichen Vorteil gegenüber der Freilufttrocknung zu haben. Zum Anderen musste ein relativ großer baulicher Aufwand betrieben werden. Wir erreichten zwar etwas kürzere Trocknungszeiten ( 10-20% ) im Vergleich zur solar unterstützten Unterdachtrocknung, waren aber mit dem Gesamtergebnis nicht zufrieden.

### *Die Freilufttrocknung*

Während der Versuche mit den solar unterstützten Trocknungskonzepten lief immer ein Parallelversuch in unserem Trocknungstand. Hier haben wir nur eine überdachte Fläche. In dieser, nach allen Seiten offenen Halle werden die Regale mit den frisch produzierten Lehmsteinen gestellt und durch die natürliche Ventilation getrocknet.

Fazit:

Da das Freilufttrocknungsverfahren mehr oder weniger Tag und Nacht arbeitet und dafür nur eine überdachte Fläche notwendig ist, war dieses Trocknungskonzept den solar unterstützten Trocknungskonzepten gleichwertig und zum Teil überlegen. Der bauliche Aufwand ist wesentlich geringer, und der Energieaufwand ist nahezu gleich Null.

### *Kammertrocknung mit Luftentfeuchter*

Während der Trocknungsversuche entwickelten wir eine neue Idee. Wir schlossen alle Öffnungen der Trocknungskammer und stellten in die Kammer kleine Umluftventilatoren, ein elektrisches Heizgerät und Luftentfeuchter.

Fazit:

Dieses geschlossene System arbeitete merklich besser, und der Energieaufwand war geringer als bei den solar unterstützten Systemen. Dieses Konzept werden wir noch weiter testen und erhoffen uns davon im Vergleich zur Freilufttrocknung eine merklich kürzere Trocknungszeit.

## **5.5. Das Nachschneiden der Lagerfugen**

Die ersten Testbaustellen zeigten, dass die Seiten der Lehmsteine bedingt durch das Abziehen der Produktionsform nicht ganz im rechten Winkel sind. Die Lehmsteine sacken dabei in sich etwas zusammen. Dadurch sind die Lagerfugen nicht parallel zueinander. Dies erschwerte das Vermauern der Lehmsteine. Nach verschiedenen Tests entschlossen wir uns, die Lehmsteine generell auf den beiden Längsseiten nachzuschneiden.

Das Vermauern der großformatigen Lehmsteine ist seitdem unproblematisch.



Bild 17: Nachgeschnittene Lagerfuge der großformatigen Lehmsteine

## 5.6. Das Lagern und Verpacken der großformatigen Lehmsteine

Die Formate der großformatigen Lehmsteine sind so gewählt, dass das Verpacken auf handelsüblichen Europaletten möglich ist. Die Lehmsteine werden entsprechend gestapelt, mit Folie wetterfest eingepackt und mit Bändern verspannt.



Bild 18: Die Lehmsteine können auf handelsüblichen Europaletten verpackt werden.

## 5.7. Der Verbau der großformatigen Lehmsteine

Ab 2006 setzten wir die großformatigen Lehmsteine bei verschiedenen Bauvorhaben ein. Wir sammelten dadurch Erfahrungen in der Praxis und konnten die Vor- und Nachteile unseres Systems erkennen. Verbesserungen wurden sofort in der Produktion umgesetzt. Auf diesem Weg entstand ein anwendungsstabiles, rationelles und zeitgemäßes Lehmsteinebaukonzept.

### *Das Innenwandkonzept*

Ob Holzbau- oder Massivbaukonzept, Innenwände aus Lehmsteinen können fast überall integriert werden. Wir entwickelten Detaillösungen für Steckdosen, Verlegen von elektrischen Leitungen, Bädern, Toiletten, Nassräumen und Anbindungen an andere Baustoffe.

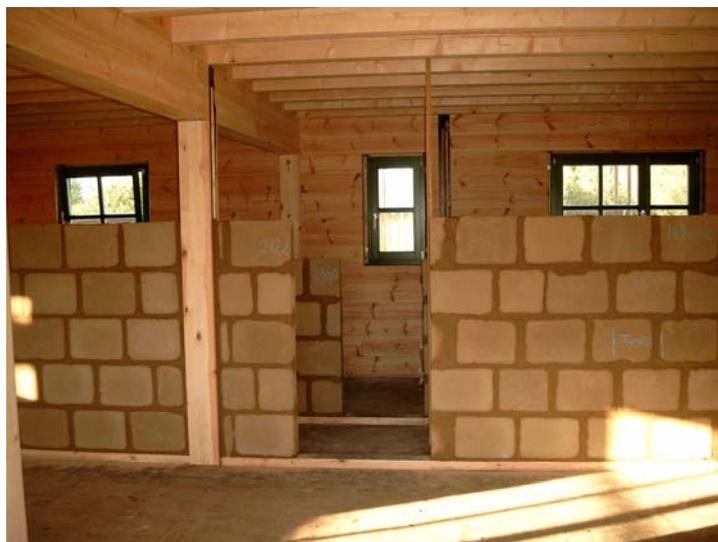


Bild 19: Erstellen von Innenwänden mit großformatigen Lehmsteinen



Bild 20: Erstellen von Innenwänden mit dem zweiseitig verputzten Kernelement  
Nach dem Erstellen der Innenwände werden die Lehmsteine mit einem Lehmputz verputzt. Als Oberflächenabschluss werden die Lehmwände mit Lehmfarben farblich gestaltet. Alle Komponenten ( Lehmstein, Lehmmörtel, Lehmputz und Lehmfarben ) einer Innenwand sind aufeinander abgestimmt und werden von uns komplett hergestellt.



Bild 21: Die trockenen Lehmwände werden mit Lehmputz verputzt.



Bild 22: Detaillösung für die Befestigung von wandhängenden Toiletten

### *Das Außenwandkonzept*

Im Sommer 2007 begannen wir mit der Umsetzung eines eigenen Lehmhausbaukonzeptes. Wir mauerten aus Kernelementen komplett in monolithischer Bauweise die gesamten Außenwände. Das Dach liegt auf den Außenwänden auf, und ein entsprechender Dachüberstand schützt die lehmverputzten Außenwände gegen Regen. Auch dies ist ein Arbeitsfeld, das wir weiterentwickeln wollen.



Bild 23: Außenwände monolithisch aus Lehmsteinen



Bild 24: Außenwände mit Lehm verputzt

### *Das Fußbodenkonzept*

Ein weiterer interessanter Einsatzbereich sind Fußböden aus großformatigen Lehmsteinen. Wir haben dies an zwei Baustellen durchgeführt und positive Erfahrungen gesammelt. Auch dies ist ein Arbeitsbereich, den wir stärker vermarkten wollen.

## 6. Resultate der Datenerhebungen

### 6.1. Die mineralischen Mischungen

Zur Herstellung der großformatigen Lehmsteine wurden für die rein mineralischen Mischungen folgende Materialien benötigt:

#### *Lehmschlämme*

Aus den verschiedenen Rohlehmarten stellten wir Lehmschlämmen her. Die Lehmschlämmen waren das Grundmaterial, das in der Regel mit Blähton vermischt wurde.

Magere Rohlehme ( geringer Tonanteil )	Fette Rohlehme ( hoher Tonanteil )
von 20 %	bis 35%

Tabelle 1: Wasseranteil an der Schlämme

#### *Lehmputze*

Wurden ein- oder zweiseitig verputzte Lehmsteine hergestellt, benötigte man zusätzlich Lehmputze. Die Lehmputze wurden durch Abmagern mit gewaschenem Sand aus den Lehmschlämmen hergestellt.

Wasseranteil an den Lehmputzen

Der Wasseranteil schwankte bei unseren Versuchen zwischen 11.7 – 22.7 %. Entscheidend ist auch hier, wie tonhaltig die Lehmschlämme ist.

#### *Blähton*

Als mineralischen Zuschlag für die Leichtlehm-mischungen verwendeten wir Blähton in der Körnung von 4-8 mm.

#### *Die Produktionsmischungen*

In die Lehmschlämme mischten wir unterschiedliche Mengen Blähton mit ein. Diese Mischungen waren das Ausgangsmaterial für die Kernelemente. Wurden ein- bzw. zweiseitig verputzte Lehmelemente hergestellt, mischten wir zusätzlich Lehmschlämme mit gewaschenem 02 Sand. Die Lehmputze wurden in einem zweiten Container am Produktionsplatz zu der Lehmblähtonmischung beigelegt.

	Maximum	Minimum
Spezifisches Rohgewicht	1450 kg/m <sup>3</sup>	800 kg/m <sup>3</sup>
Trockenes Lehmsteingewicht bei 50x25x10 cm Steingröße	18 kg/Element	10 kg/Element
Ausgangsfeuchte der Lehmsteine	22 %	16 %
Trocknungszeit bei natürlicher Freilufttrocknung	3-6 Wochen	3-5 Wochen

Tabelle 2: Technische Daten der Produktionslehm-mischungen

Mineralische Mischungen unter 800 kg/m<sup>3</sup> ergeben kein stabiles Steingefüge mehr. Beim Vermischen der einzelnen Komponenten miteinander entsteht ein Volumenschwund von 25-30 %.

## 6.2. Mischungen mit organischen Zuschlägen

Wir stellten Mischungen mit folgenden organischen Zuschlägen her: gehäckseltes Stroh, Sägespäne, Sägemehl und Seegras. Bei den Mischungen mit Strohanteil stellten wir Schimmel an der Oberfläche fest. Bei den anderen organischen Materialien stellten wir keine Schimmelbildung fest.

	Maximum	Minimum
Spezifisches Rohgewicht	1450 kg/m <sup>3</sup>	600 kg/m <sup>3</sup>
Trockenes Lehmsteingewicht Bei 50x25x10 cm Steingröße	18 kg	7,5 kg
Ausgangsfeuchte der Lehmsteine	22%	16%

Tabelle 3: Technische Daten der Mischungen mit organischen Zuschlägen

Bei den Mischungen mit organischen Zuschlägen kann das spezifische Gewicht bis auf 600kg/m<sup>3</sup> reduziert werden. Entscheidend bei diesen Mischungen ist eine kurze Trocknungszeit. Diese ist bei natürlicher Unterdachttrocknung schwer einzuhalten.

## 6.3. Der Aufschlammtest

### *Ablauf*

Eine bestimmte Menge Rohlehm wird mit Wasser versetzt und zu einer Schlämme aufgerührt. Die Schlämme wird durch ein 5 mm Sieb gesiebt. Der zurückgebliebene Steinanteil wird abgewogen und zum Gesamtgewicht in Relation (prozentualer Anteil) gebracht. Die gesiebte Rohlehmschlämme wird mit Hilfe eines von uns entwickelten Fallgewichtes mit einer definierten Eindringtiefe in die Nasslehmnormkonsistenz gebracht. Ist die Nasslehmnormkonsistenz erreicht, werden drei Proben gezogen und mittels Heißluftgerät sofort zurückgetrocknet. Dieser Trocknungsprozess benötigt etwa 15 – 30 Minuten. Nachdem die Proben trocken sind, werden sie zurückgewogen und der Wasseranteil der Nasslehmnormschlämme so exakt bestimmt.



Bild 25: Benötigt werden folgende Gerätschaften für den Aufschlammtest: 2 Stück 20l Eimer, Bohrmaschine zum Aufrühren der Rohlehmschlämme, 5mm Sieb, Einsinkinstrument, Waage mit einer Genauigkeit von Plus/Minus 1 g, keramische Trocknungsschale, Heißluftföhn



Bild 26:  
Einsinkinstrument mit einem Eigengewicht von 150 g

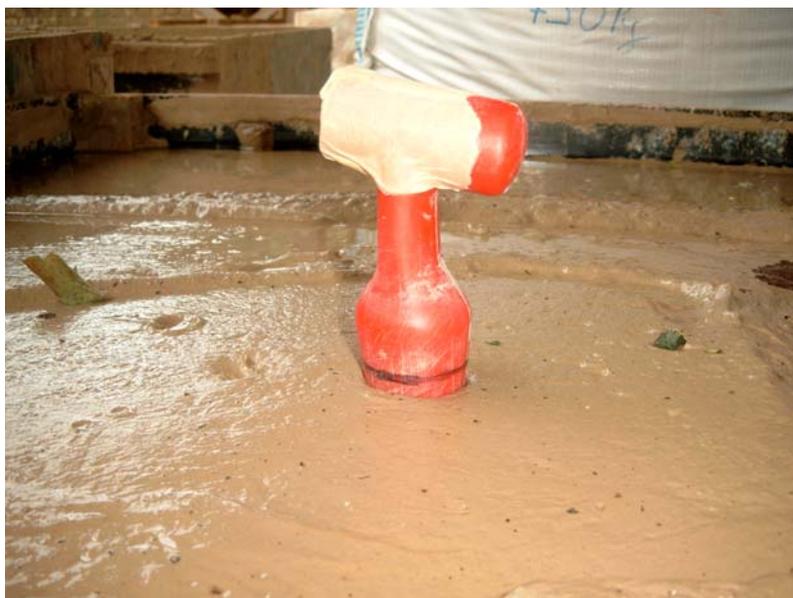


Bild 27:

Das Einsinkinstrument wird auf die aufbereitete Schlämme aufgesetzt und losgelassen. Durch das Eigengewicht von 150 g des Einsinkinstrumentes soll das Instrument so weit einsinken, dass der Einsinkvorgang zwischen der ersten und zweiten Markierung stehen bleibt.

#### *Interpretation der Ergebnisse*

Mit Hilfe dieses Versuches erreichen wir folgende Ziele:

- einfache Versuchsabläufe mit einfachen Versuchsgeraten
- ein Test dauert etwa 2-2,5 Stunden
- Bestimmung des Steinanteils
- Bestimmung des Tonanteils und der Tonart durch Vergleich mit den Referenzproben aus den Versuchen nach DIN 18123
- genaue Mischungsangaben für die Herstellung von Lehmputz und Lehmsteinen möglich

## Resümee

Wir entwickelten diesen Versuch weiter, ermittelten mehr und mehr Daten und stellten eine gute Zuverlässigkeit der Ergebnisse fest. Dieser Prozess wird kontinuierlich weitergeführt. Wir werden diesen Versuch noch in Details stärker dokumentieren und beschreiben und bei öffentlichen Präsentationen vorstellen. Wir sind auch davon überzeugt, dass Laien mit diesem Versuchsablauf sehr gut zurechtkommen und keine teuren Gerätschaften dazu benötigen

### Erstes Resultat: die Mischtablette für Lehmputze

Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen:

Lehmklassen	Wasseranteil in der Normschlämme in % zum Naßlehmgewicht	Mischungsverhältnis mit gewaschenem 02 Sand (Lehmschlämme: Sand)
extrem sandiger Lehm	unter 20%	1 : 0
stark sandiger Lehm	21 – 25 %	1 : 0.5
sandiger Lehm	26 – 30 %	1 : 1
bindiger Lehm	31 – 35 %	1 . 2
mittelfetter Lehm	36 – 40 %	1 . 2.5
fetter Lehm	41 – 45 %	1 . 3
stark fetter Lehm	46 - 50 %	1 . 3.5
extrem fetter Lehm	51 - 55 %	1 : 4

Tabelle 4: Mischtablette für Lehmputze

## 7. Vergleich zwischen konventionellen Innenwänden und der PRO LEHM Lehmsteinwand

Der Vergleich macht deutlich, dass die PRO LEHM Systemverbundlehmsteine konkurrenzfähig sind zu konventionellen Innenwänden. Da jedoch Lehmwände nicht statisch belastet werden dürfen, können nur lastenfreie Innenwände aufgemauert werden.



Bild 28: Fertig verputzte Lehmwände aus großformatigen Lehmsteinen

Arbeitsschritte	Konventionelle Wand z. B. Kalksandstein, Porenbeton	PRO LEHM Lehmstein
1. Mauern		
1.1 Material	<b>15-22 €</b>	<b>38 €( BVKelement )</b>
1.2 Arbeit ca. 1 Std/m2	<b>35 €</b>	<b>35 €</b>
2. Verputzen für 2 m2		
2.1 Material	<b>5 €( Kalkzementputz )</b>	<b>8 €( Lehmfeinputz )</b>
2.2 Arbeit	<b>21 €</b>	<b>22 €</b>
3. Tapete für 2 m2		<b>nicht notwendig</b>
3.1 Material	<b>4 €</b>	
3.2 Arbeit	<b>15 €</b>	
4. Anstrich für 2 m2		
4.1 Material	<b>1 €</b>	<b>2 €</b>
4.2 Arbeit	<b>7 €</b>	<b>7 €</b>
Gesamtkosten	<b>103 – 110 €</b>	<b>112 €</b>

Tabelle 5: Preisvergleich konventionell erstellter Innenwand mit einer Innenwand aus Lehmsteinen

## 8. Geplante Vermarktungsaktivitäten

In der letzten Projektphase wurden folgende Aspekte bearbeitet:

- Erstellung eines technischen Merkblattes über die großformatigen Systemlehmsteine
- Informationsfaltblatt über die großformatigen Systemlehmsteine
- Geplant sind Infoveranstaltungen und die Teilnahme an der Nord Bau

PRO LEHM arbeitet derzeit an einem eigenen Lehmhauskonzept. Die grundlegende Idee dabei ist, ein Baukonzept zu entwickeln, das zu großen Teilen mit den selbst hergestellten Baustoffen zu realisieren ist. Als erstes soll ein Musterhaus auf dem Betriebsgelände erstellt werden, welches hauptsächlich der Vermarktung dient.

## 9. Danksagung

Im Bereich der Aufbereitung von Rohlehm zu hochwertigen Lehmstoffen konnten wir durch dieses Projekt entscheidende Schritte in die richtige Richtung tun. In Zukunft wird es immer entscheidender, dass Baustoffe in einer Region für die Region hergestellt werden. Dieser wirtschaftliche Vorteil wird immer mehr in den Vordergrund rücken und dem Konzept der kleinhandwerklichen Herstellung Rückenwind geben.

Ich möchte an dieser Stelle allen Beteiligten der **Deutschen Bundesstiftung Umwelt** herzlich danken, dass sie uns Vertrauen für eine Idee entgegengebracht haben, die nicht so ohne weiteres in unser heutiges, stark rationalisiertes und zentralisiertes Wirtschaftsgefüge passt. Dieses Projekt war ein wichtiger Schritt in Richtung mehr Zukunft durch Arbeit auf regionaler Ebene.

#### IV. Fazit

Das Projekt gliederte sich in 9 Arbeitsfelder, die während der Projektzeit intensiv bearbeitet wurden:

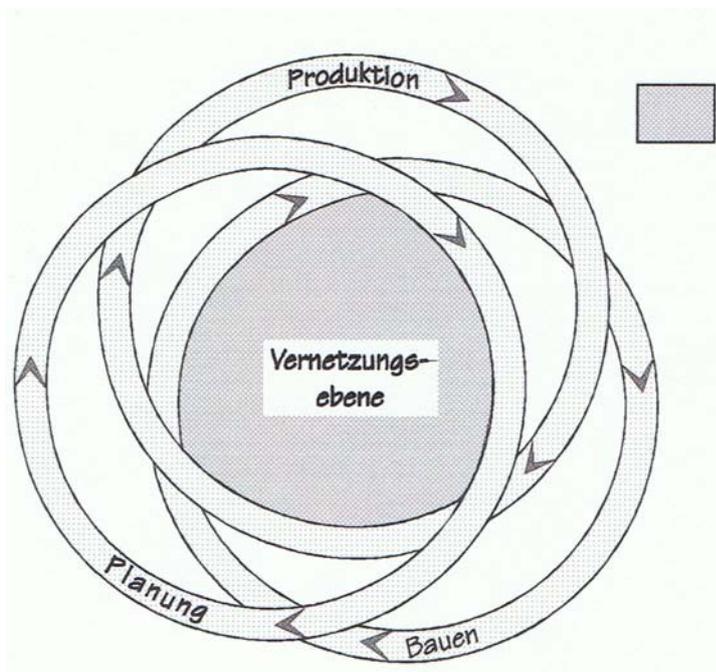
1. Bau der solar unterstützten Trocknungsanlage
2. Bau von Trocknungsregalen
3. Bau von Formen und Arbeitstischen
4. Bau eines Verpackungsplatzes
5. Testproduktion und Verbau der großformatigen Lehmsteine
6. Entwicklung eines internen Produktionstestes
7. Auswertung der Versuche
8. Weitere Testproduktionen mit unterschiedlichen Mischungen
9. Entwicklung einer Vermarktungsstrategie

Alle Bereiche wurden erfolgreich und zufriedenstellend bearbeitet. Es existiert eine vollständige Produktionslinie die alle wichtigen Einzelschritte der Produktion umfasst.

**PRO LEHM** wird in den nächsten Jahren diese Produktionslinie weiter verbessern und noch rationeller organisieren. Insbesondere werden wir bei der Aufbereitung der Rohlehme zu Produktionslehmen als auch bei der Trocknung der großformatigen Lehmsteine Veränderungen und Verbesserungen vornehmen.

#### Der nächste Schritt: Das PRO LEHM Baukonzept

**PRO LEHM** entwickelte, bezogen auf lokale Gegebenheiten, kleinhandwerklich ausgerichtete, geschlossene Planungs- und Baukreisläufe, die hauptsächlich auf lokal vorhandene Ressourcen ( Rohstoffe, Arbeit, Know-how ) zurückgreifen und dadurch eine enge Vernetzung auf lokaler Ebene aufweisen. Viele der heutigen Probleme im Bereich des ökologischen Bauens werden dadurch vermieden bzw. reduziert. Durch diese intensive Vernetzung der wichtigsten, am Bau beteiligten Wirtschaftskreisläufe werden die Wege „kurz“ zwischen der Planung, der Produktion und dem Bauen.



Das PRO LEHM Baukonzept realisiert einen hohen Vernetzungsgrad der drei wichtigen Baukreisläufe: Planen, Produzieren und Bauen

Grafik 1: Vernetzungsebene der drei wichtigsten Baukreisläufe

In den letzten Jahrzehnten entwickelte sich eine „moderne“ Bauwirtschaftskonzeption, in der die Teilbereiche Planen, Produzieren und Bauen komplett voneinander getrennt, zentralisiert und dadurch monopolisiert wurden. Resultat dieser Entwicklung sind heutige Produktionsmechanismen, die in der Regel energieintensiv und arbeitsexensiv organisiert sind. Zudem ist die industrielle, zentralisierte Massenproduktion von Baustoffen von sehr kostenintensiven und komplizierten Vermarktungsstrategien abhängig, die zum Teil mehr als 50% der Endverbraucherpreise mittlerweile ausmachen. Zum Teil liegen die Herstellungskosten unter dem Anteil der Energiekosten für Transport zum Endverbraucher und dem Anteil der Vermarktungskosten.

Kernpunkt des **PRO LEHM** Baukonzeptes ist, soviel Baustoffe wie möglich zum Bau eines Hauses in der eigenen Produktion herzustellen. Das bezieht sich nicht nur auf die Produktion von Lehm- und Ziegelbaustoffen, sondern umschließt auch Baustoffe aus recycelten Ziegelsteinen, wie z. B. Bodenfliesen und Fensterbänke.

**PRO LEHM** macht die Wege „kurz“ zwischen der Planung, der Produktion und dem Bauen. **PRO LEHM** erreicht kostengünstiges Bauen durch die Kombination folgender Aspekte:

- Einfache und trotzdem stilvolle Baugestaltung ermöglicht zügiges und risikofreieres Bauen.
- Eigene Herstellung von ökologischen Baumaterialien für die Bereiche Fußboden, Wand und Dach in einer kleinhandwerklich organisierten Produktionsstätte. Dadurch wird der Zukauf von Baumaterialien wesentlich reduziert.

**PRO LEHM** setzt durch dieses Baukonzept folgende Aspekte um:

- Konsequenter Aufbau von lokalen Rohstoffkreisläufen
- Minimaler Energieeinsatz in der Produktion, für den Transport und den Verbau
- Herstellung qualitativ sehr hochwertiger Baustoffe
- Realisierung eines sehr guten Wärmedämmstandards
- Die **PRO LEHM** Häuser sind vollkommen recyclebar und stellen somit am Ende der Nutzzeit einen Materialverkaufswert dar.
- Reduzierung der Anzahl von eingesetzten Baustoffen auf Lehm, Holz und als Dämmstoff Blähton oder Blähglas
- Der Energie- und Wasserbedarf während der Nutzzeit des Hauses ist nahezu Null, durch:
  1. passive Nutzung von Solarenergie
  2. aktive Nutzung von Solarenergie durch eine thermische Anlage und Photovoltaik
  3. Regenwassernutzung
  4. Komposttoiletten
  5. Grauwasserreinigung durch eine Pflanzenkläranlage

Ein wichtiger Aspekt für uns ist die Schaffung eines gesunden, schadstoffunbelasteten Innenraumklimas. Unsere Baustoffauswahl orientiert sich in erster Linie an diesem Aspekt. Lehm, richtig verarbeitet, ist ein Garant für ein gesundes, optimales Raumklima und wird deshalb von uns bevorzugt eingesetzt. Alle anderen Baumaterialien, die in unserem Konzept mit verwendet werden, müssen ohne Einschränkung ebenfalls gesundheitsunbedenklich sein.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt stellt für uns die Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Baumaterialien dar. Ob es sich um Wände, Dächer oder andere raumumschließende Bauteile handelt, unser Konzept ist so angelegt, dass die Massenbaustoffe recycelbar sind und somit am Ende der Nutzzeit kein Entsorgungsproblem darstellen, sondern einen Materialrestwert erzielen.

**PRO LEHM** erarbeitete in den letzten 15 Jahren viele Innenausbaukonzepte und Ausführungsdetails, basierend auf unseren Bauerfahrungen mit dem Baustoff Lehm. Es existieren sehr anwendungsstabile Ausbaukonzepte, die in alle möglichen Baukonzepte integriert werden können. Ob Altbausanierung oder Neubau, **PRO LEHM** stellt die Lehmabaustoffe her, die vor Ort benötigt werden.

Die Umsetzung eines eigenen Baukonzeptes ist somit der nächste logische Schritt. Durch die Eigenproduktion und den eigenen Verbau schaffen wir Synergieeffekte, die sich positiv auf die gesamten Bauabläufe und Baukosten auswirken. **PRO LEHM** setzt ein Konzept um, das in Deutschland einmalig ist und durch diesen Schritt der eigenen Baukonzeptentwicklung die Vorteile der kleinbetrieblichen Herstellung von Lehmabaustoffen voll ausgeschöpft werden können.

## Anhang 1: PRO LEHM, Technisches Merkblatt: Der großformatige Systemlehmstein

<p><i>Technisches Merkblatt</i> PL 11 - 04.08</p>	<p><b>PRO LEHM</b> <b>großformatige Systemlehmsteine, original handstrich</b></p>		
<p><i>PRO LEHM – großformatige Systemlehmsteine</i> original handstrich</p>	<p>sind ein ökologisch optimales Baumaterial mit einem regionalen Bezug und der Möglichkeit, das spezifische Rohgewicht als auch die Steinformate individuellen Gegebenheiten anzupassen. Problemlose Verarbeitung, bauphysikalisch günstige Eigenschaften und ein breites Anwendungsfeld von der Restaurierung historisch wertvoller Bauwerke bis zur Realisierung individueller Neubauobjekte machen PRO LEHM - Lehmsteine zu einem wertvollen Baustoff. Durch den original handstrich Lehmstein können besondere optische Akzente gesetzt werden.</p>		
<p><b>Eigenschaften:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - dampfdiffusionsoffen</li> <li>- - körper- und luftschalldämmend</li> <li>- - wärmespeichernd</li> <li>- - niedrige Gleichgewichtsfeuchte</li> <li>- - feuchtigkeitsregulierend</li> <li>- - wärmeregulierend</li> <li>- - sehr gut verarbeitbar</li> </ul>		
<p><b>Anwendungsbereich:</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>PRO LEHM - Lehmsteine sind nur im Innenbereich zu verwenden.</b></p> <p>PRO LEHM - Lehmsteine sind <b>nicht</b> geeignet als Sockelsteine und im erdberührenden Bereich. PRO LEHM - Lehmsteine dürfen nicht statisch belastet werden. Lehmsteine generell dürfen nicht statisch belastet werden. PRO LEHM - Lehmsteine müssen gegen aufsteigende Feuchtigkeit, Regen oder sonstige Feuchteinflüsse dauerhaft geschützt werden.</p>		
<p><i>Zusammensetzung:</i></p>	<p>Verschiedene Naturlehme in gleichmäßiger Zusammensetzung und Natursande, Blähton oder Blähglas als gewichtsreduzierende Zuschläge.</p>		
<p><b>Technische Daten:</b> (Durchschnittswerte)</p>	<p>Rohgewicht Druckfestigkeit Wärmeleitfähigkeit Maßtoleranz</p>	<p>0.8-1.45 kg/dm<sup>3</sup> 1.0 – 2.5 N/mm<sup>2</sup> 0.22 – 0.60 W/mK +/- 5%</p>	
<p><b>Formate:</b></p>	<p>50x25x10 FormatA 30x40x10 FormatB</p>	<p>Spezialformate möglich</p>	
<p><b>Lehmsteinarten:</b></p>	<p>PRO LEHM - Massivlehmsteine ab 1450 kg/m<sup>3</sup> dann kleinere Formate PRO LEHM - Leichtlehmsteine ab 800 kg/m<sup>3</sup> 0.25 W/mK Leichtlehmzuschläge sind Blähton, Blähglas</p>		
<p><b>Verbrauch:</b> (Durchschnittswert)</p>	<p>FormatA Wanddicke 11.5 cm FormatB Wanddicke 11.5 cm</p>	<p>8 Stück/m<sup>2</sup> 8.3 Stück/ m<sup>2</sup></p>	<p>5 Ltr Mörtel/ m<sup>2</sup> 6 Ltr Mörtel/ m<sup>2</sup></p>
<p><b>Verarbeitungstemperatur:</b></p>	<p>min. + 5° C</p>		
<p><b>Materialaufbereitung für PRO LEHM - Lehmmörtel:</b></p>	<p>In einem sauberen Mörtelkübel wird PRO LEHM - Mauermörtel mit der erforderlichen Wassermenge angemischt. Durch die erdfeuchte Anlieferungsform reduziert sich der Arbeitsschritt Mischen zur verarbeitungsfähigen Konsistenz auf ein Minimum.</p>		
<p><b>Verarbeitung:</b></p>	<p>PRO LEHM - Lehmsteine werden genauso verarbeitet wie andere Mauersteine gleichen Formates. Werden Gefache ausgemauert, gelten die allgemeinen Regeln der Gefachausmauerung. Übergänge zu anderen Baustoffen sind zu beachten. Detail-lösungen bitte beim Hersteller nachfragen.</p>		
<p><b>Oberflächenbearbeitung:</b></p>	<p>Die großformatigen Lehmsteine können verfugt, geschlämmt, abgerappt oder mit Lehmmörtel verputzt werden. Putze mit Nicht-Lehm-Bindemittel haben keine Haftung</p>		
<p><b>Grundregeln für den Verarbeiter:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbeite sauber! Die Bindekraft des Lehms geht bei Vermischung mit gips- kalk- oder zementgebundenem Mörtel verloren.</li> <li>- Stelle die Konsistenz des Mörtels möglichst steif ein, so dass wenig Anmachwasser benötigt wird!</li> <li>- Lehmsteinwände benötigen horizontalen Feuchtigkeitsschutz z B zulässige Schweißbahn unter die erste Mauerschicht !</li> <li>- Sorge für eine ausreichende Belüftung, damit PRO LEHM - Lehmsteinwände zügig austrocknen können. Lehmmörtel erhält seine Festigkeit ausschließlich durch Trocknung und bindet nicht wie herkömmliche Mauermörtel durch Reaktion von Bindemitteln ab.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Der großformatige PRO LEHM Systemstein</b></p>		

<b>Trocknungszeit:</b>	<p>Je nach Witterungsbedingungen und Luftwechsel ist mit mehr oder weniger unterschiedlichen Trocknungszeiten zu rechnen.</p> <p>Unter normalen Trocknungsbedingungen ist eine Trocknungsdauer von 1-2 Wochen zu veranschlagen (20°C, 60% relative Luftfeuchtigkeit, günstige Luftzirkulation im Raum). Bei extrem hoher Luftfeuchtigkeit, z.B. in schlecht belüfteten Kellerräumen ist von einer erheblich längeren Trocknungszeit auszugehen.</p>
<b>Nachträglicher Farbanstrich:</b>	<p>Lose Teile werden von der trockenen Lehmwand mit einem weichen Besen abgekehrt. Anschließend wird ein offenporiges, spannungsarm erhärtendes Anstrichsystem aufgebracht. Besonders gut eignen sich PRO LEHM - Lehmstreichputze und PRO LEHM - Lehmfarben. Ein Vornässen der Lehmstein- oder Lehmputzoberflächen vor dem Farbauftrag mit PRO LEHM-Farben ist zu vermeiden.</p>
<b>Sicherheitshinweis:</b>	Nicht erforderlich
<b>Lagerung:</b>	<p>PRO LEHM - Lehmsteine werden palettenweise angeliefert und sind mit einer Folie gegen Regen geschützt. Dieser Schutz ist nur ein Regenschutz während des Transportes und für kurze Zeit vor Ort auf der Baustelle. Werden die Lehmsteine nicht zügig verarbeitet ( innerhalb einer Woche ) müssen sie der Verpackung entnommen werden und im Haus oder an einem regengeschützten Ort ohne Folienverpackung (Vermeidung von Kondenswasser unter der Folie) zwischengelagert werden.</p>
<b>Qualitätskontrolle:</b>	Laufende produktionstechnische Kontrollen.
<b>Anmerkung:</b>	<p><i>Dieses Technische Merkblatt verliert bei Erscheinen einer neuen Ausgabe seine Gültigkeit. Mit den Angaben dieser technischen Information wollen wir nach bestem Wissen beraten. Die Verarbeitungshinweise sind unverbindlich, sie müssen auf die jeweiligen Verhältnisse und die Verarbeitungsmethoden abgestimmt werden.</i></p>

## Anhang 2: PRO LEHM Falblatt: Der großformatige Systemlehmstein

**Der großformatige PRO LEHMstein,**  
eine wirtschaftliche Alternative

Mit Hilfe des großformatigen **PRO LEHM Systemlehmsteines** können massive Wände aus Lehm **kostengünstig** erstellt werden, durch folgende wirtschaftliche Vorteile:

- rationeller Verbau durch das Großformat
- die Anzahl der Arbeitsschritte reduzieren sich, da der Lehmputz schon werksseitig aufgebracht ist
- Minimaler Eintrag von Baufeuchte und dadurch kurze Trocknungszeiten
- alle Materialien für den Bau von Wänden aus einer Hand ( Stein, Mörtel, Feinputz, Farbe )
- Anleitung für Eigenleistung

Anzahl der Arbeitsschritte im Vergleich	
<b>PRO LEHM</b> Konzept	Andere Hersteller
Mauern	Kleben
farbige Feinputze	1. Putzschicht
<b>fertige Wand</b>	2. Putzschicht
	Grundierung
	Lehmoberfarbe
	<b>fertige Wand</b>

Die Anzahl der Arbeitsschritte reduziert sich im günstigsten Fall von 5 auf 2 . Dies ist ein **erheblicher wirtschaftlicher Vorteil** des **PRO LEHM** Systemlehmsteines.

**PRO LEHM** bringt die Natur ins Haus

**PRO LEHM** Produkte aus eigener Herstellung für ein dauerhaft gesundes Raumklima:

- Massivlehmsteine
- Leichtlehmsteine
- Lehmbauplatten
- Lehmputze
- Lehmfarben

**PRO LEHM** bietet zusätzlich an:

- Bauberatung
- Einführungsseminare
- Vermietung von Arbeitgeräten



Fertig verputzte Lehminnenwände

**PRO LEHM**

Marius Bierig  
Bäckerkoppel 10a  
24977 Langballig  
Tel: 04636-976630  
Handy: 0175-1242236  
[www.lehmbau-prolehm.de](http://www.lehmbau-prolehm.de)  
[info@lehmbau-prolehm.de](mailto:info@lehmbau-prolehm.de)



**Fachbetrieb für Lehmbau**

Herstellung und Verarbeitung von Lehmbaumaterialien



**Der großformatige Systemlehmstein**

**Produktbeschreibung**

**PRO LEHM** bringt die Natur ins Haus und schafft ein dauerhaft gesundes Innenraumklima

### Der Baustoff Lehm

Lehm ist ein **Verwitterungsprodukt** aus der Gesteinsschicht **unserer Erde** und besteht aus Ton, Schluff, Sand und Kies. Im Lehm wirkt der Ton als Bindemittel, das die übrigen größeren Bestandteile miteinander auf natürliche Art und Weise verklebt. Schluff, Sand und Kies sind die sogenannten Füllstoffe.

### Das PRO LEHM Herstellungskonzept

Seit der **Betriebsgründung** im Jahr 1993 arbeiten wir mit der sogenannten **Fermentationsnaßlehmtechnik**. Zudem produzieren wir all unsere Baustoffe im **original Handstrichverfahren**. Durch die **nicht verdichtende Herstellung** der Lehm-Baustoffe erreichen wir **optimale bauphysikalische Eigenschaften** und dadurch ein dauerhaft **gesundes Innenraumklima**.

### PRO LEHM Produkte

haben folgende **bautechnische Kennwerte**:

- sehr gut feuchtigkeitsregulierend
- sehr gut wärmeregulierend
- sehr gut schalldämmend
- raumakustikfördernd
- feuerbeständig
- frostbeständig
- holzkonservierend
- dampfdiffusionsoffen
- als Leichtlehmischung wärmedämmend
- schadstoffabsorbierend
- elektrostatisch ausgleichend

Die **ökologischen Produktionskennwerte** der **PRO LEHM Nasslehmtechnologie** sind wie folgt:

- sehr geringer Energieverbrauch
- alle Produkte sind 100% recycelbar
- 100% biologische Rohstoffreinheit
- keine chemischen Beimischungen
- Verwendung lokaler Lehme
- Entlastung von Abraumdeponien

### Produktbeschreibung

Der großformatige Systemlehmstein

**PRO LEHM** stellt neben Sonderformaten drei Grundtypen von großformatigen Lehmsteinen her:

#### Grundtyp 1:

##### Das Kernelement

Das Kernelement besteht aus einer **Leichtlehm-mischung**.



#### Grundtyp 2:

##### Das einseitig verputzte Kernelement

Es besteht aus dem Kernelement und einer **werksseitig** aufgetragenen Lehmputzschicht.

#### Grundtyp 3:

##### Das zweiseitig verputzte Kernelement

Es besteht insgesamt aus drei Schichten. Es wurde im **Sandwichverfahren** hergestellt ( Lehmputz-Leichtlehm-mischung-Lehmputz )

#### Technische Daten:

Größe A	50x25x10-15 cm
Größe B	40x30x10-15 cm
spezifisches Rohgewicht	800 kg – 1450 kg/m <sup>3</sup>
Mörtelverbrauch/m <sup>2</sup>	8 – 10 Liter
Gewicht/Stein	10 – 18 kg/Stein
Stück/m <sup>2</sup>	8 – 8,5

### Anwendungsbereiche

#### Das Innenwandkonzept

Ob Holz- oder Massivbau, Innenwände aus Lehmsteinen können fast überall integriert werden. Wir entwickelten **Detaillösungen** für Steckdosen, Verlegen von elektrischen Leitungen, Toiletten, Nassräumen und Anbindungen an andere Baustoffe.



Innenwände aus großformatigen Lehmsteinen

#### Das Außenwandkonzept

**PRO LEHM** entwickelte ein eigenes Lehmhauskonzept. Bei diesem Baukonzept werden die **Außenwände komplett** aus großformatigen Lehmsteinen aufgemauert. Das Dach liegt auf den Außenwänden auf und ein entsprechender Dachüberstand schützt die lehmverputzten Außenwände gegen Regen.

#### Das Fußbodenkonzept

Ein weiterer Einsatzbereich sind Fußböden aus Leichtlehmsteinen. Diese können in mehreren Schichten eingebracht werden, um eine entsprechende **wärmedämmende Wirkung** zu erzielen