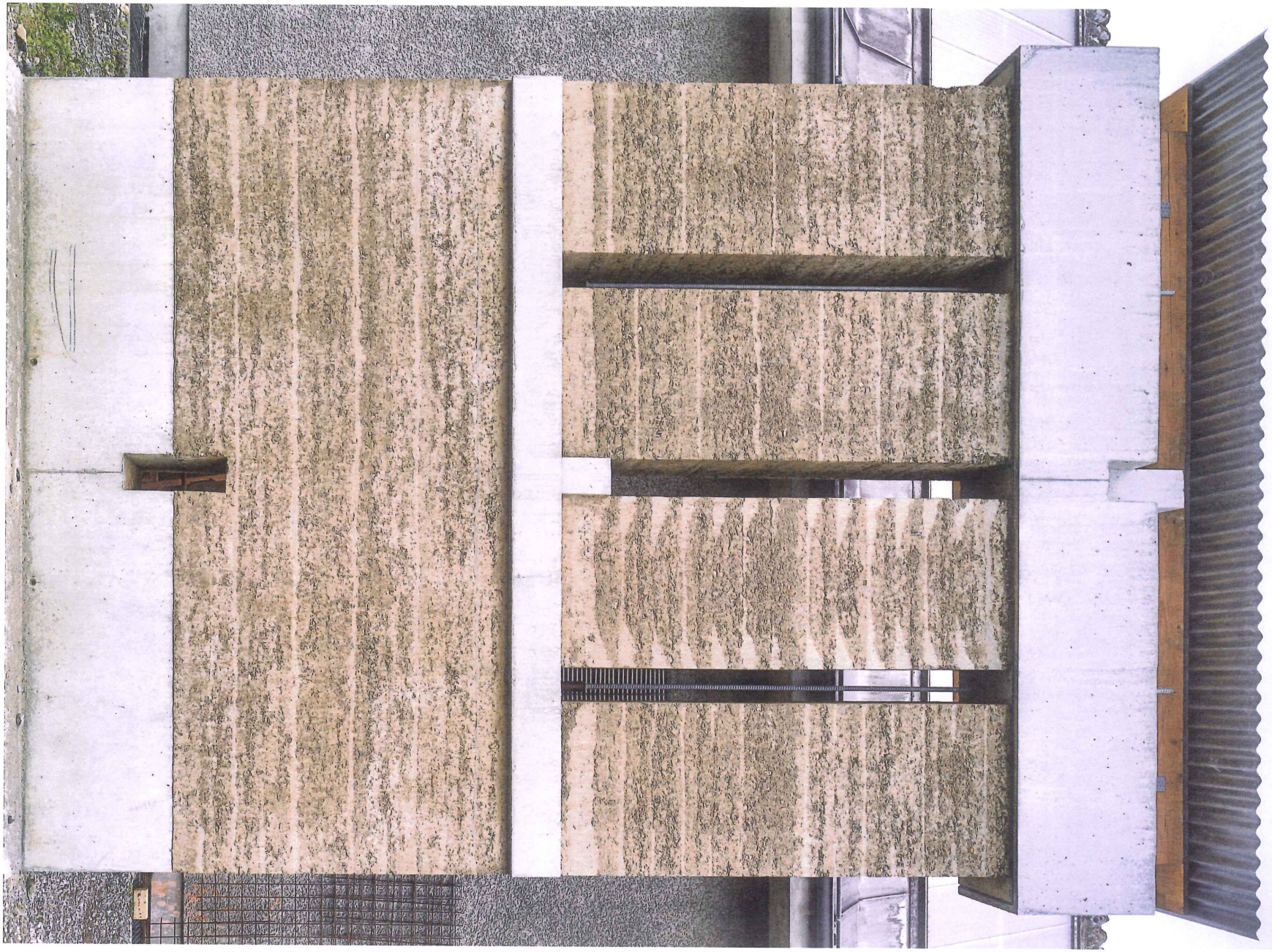
Roger
Boltshauser

Pisé – Stampflehm
Tradition und Potenzial

Triest



Bauphysikalische Synergien. Zu den spezifischen Eigenschaften von Stampflehm

Ryszard Gorajek

Die Mehrheit der Gebäude auf der Erde ist aus Lehm gebaut. Der Lehmbau hat sich als erschwingliche, praktische und dauerhafte Bauweise bewährt. Dabei wurden die meisten Lehmhäuser in einfacher Bauweise und unter Beteiligung von Laien errichtet. Das Material kommt fast überall vor, ist leicht formbar und im natürlichen Zustand einsetzbar. Lehm ist unterhaltsfreundlich, die konstruktiven Verbindungen sind einfach, der Rückbau und die Wiederverwertbarkeit problemlos. Kaum ein Material und dessen Anwendung erfüllen die Kriterien der Nachhaltigkeit in den Bereichen Umwelt und Gesellschaft so umfassend wie der Lehmbau.[1]

Es gilt die Gesetzmässigkeit: Ein leichter Baustoff dämmt besser als ein schwerer; ein schwerer Baustoff speichert Wärme besser. Gibt es Materialien, die die ungleichen Eigenschaften Dämmung und Speicherfähigkeit besser in sich vereinen?

Holz und Lehm haben – ausgehend von ihrem spezifischen Gewicht – eine überaus vorteilhafte Wärmedämmfähigkeit. Das Verhältnis der Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK) zur Rohdichte ρ (kg/m^3) erreicht bei diesen Materialien dreimal tiefere Werte als beispielsweise bei Beton oder der Mineralwolle. Die Folge ist eine relativ geringe Temperaturleitfähigkeit a (m^2/h).

Beim Lehm kommen, abgeleitet von seiner hohen Porosität und Saugfähigkeit, noch andere Eigenschaften zum Tragen: Er hat eine tiefe Gleichgewichtsfeuchte von maximal drei Gewichtsprozenten (bei 70 % relativer Luftfeuchtigkeit). So vermag Lehm extrem rasch Feuchtigkeit abzugeben und wieder aufzunehmen. Schnelles Trocknen verbessert überdies die Wärmedämmfähigkeit.

Der Lehm wirkt auf eine baubiologische Weise regulierend auf das Raumklima und sorgt für Behaglichkeit. Ausserdem emittiert er keine Allergene oder andere gesundheitsschädlichen Stoffe.

Eine Stampflehmwand aus Deponiematerial mit inerten Rückständen

Die «Schwächen» des Materials liegen in seiner arbeitsintensiven Verarbeitung. Da Stampflehmbau heute ohne Vorfertigung kaum wirtschaftlich betrieben werden kann, gelangt er selten zur Anwendung; gefragter sind Lehmputze und Lehmplatten im Innenausbau. Hinzu kommt, dass eine Lehmwand nur auf Druck belastbar, in der Tragfähigkeit somit anderen Baustoffen unterlegen ist. Zudem besteht die Gefahr der Erosion, wenn die Lehmwand dauerhaft starken Umwelteinflüssen ausgesetzt wird.

Wie kann also die Pisébauweise konditioniert werden, um sie frei von diesen «Nachteilen» zu machen? Können andere Arbeitsprozesse den Zeitaufwand reduzieren? Kann man die Materialeigenschaften mit Zuschlagstoffen verbessern und die Schwächen des Lehms mit neuartigen Materialkombinationen ausgleichen?

1 SIA 112/1 Nachhaltiges Bauen – Hochbau, 2004.

Abb. 01

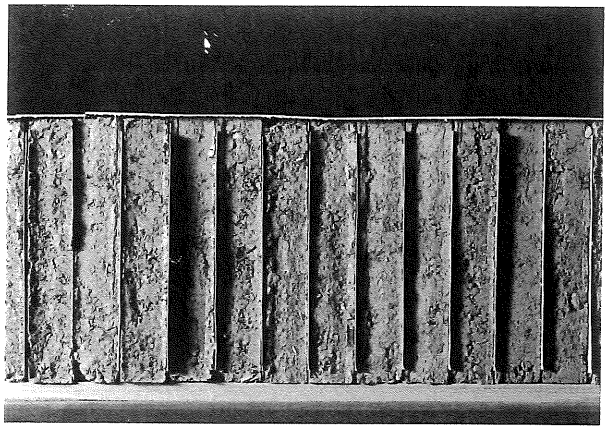


Abb. 02

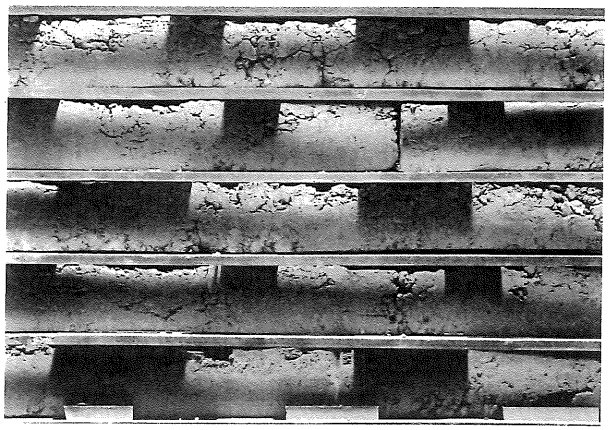


Abb. 01 Die Stampflehmelemente dieses Projektes wurden in eine verlorene Schalung aus Stahlwinkeln gestampft und hochkant nebeneinander aufgestellt. Studenten: Patry Augustin, Casares Cascales Michael
Abb. 02 Lehm und Holz in Verbindung bilden ein Hybridbauteil. Die unteren Schalungsbretter werden für das Hybridsystem als Erosionsbremsen und konstruktive Auflager verwendet. Studentin: Noémie Tsu-Shin Allenbach

Stampflehm in Hybridsystemen

Eine in eine Schalung gestampfte massive Lehmwand ist in der Regel ab einer Dicke von 35 Zentimetern tragend. Bevor die Wand mit einer Deckenkonstruktion belastet werden kann, müssen der Austrocknungs- und der Schwindprozess abgewartet werden (je nach Ausgangsmaterial setzt sich Stampflehm mehr oder weniger stark).

Feuchtes, regnerisches Wetter sowie eine schlechte Belüftung der Wand, die überdies einseitig durch eine Wärmedämmung oder Holzschalung beplankt sein kann, führen zu Verzögerungen des Trocknungsprozesses. Werden Lehmbaustellen – um beispielsweise nicht den Winter überdauern zu müssen – ausserdem nachgeheizt, kann die zum Trocknen benötigte Wärmemenge leicht die gesamte Herstellungsenergie der Stampflehmwände übersteigen. Mischt man dem Lehm organische Zuschlagstoffe bei, erhöht sich die Trocknungszeit, zusätzlich besteht die Gefahr der Pilzbildung. Damit der Stampflehmbau termingerecht und auch bei grossen Bauaufgaben zur Anwendung kommen kann, ist es folgerichtig, die Lehmbauteile unter Dach und vorgefertigt einzubauen.

Materialkombinationen können neue physikalische sowie gestalterische Qualitäten erzeugen. Massivlehm kann, weil er überaus druckfest ist, im Elementbau mit Hilfskonstruktionen aus Stahl vorgespannt werden (Abb. 01).

Bei hybriden Konstruktionen können statische Funktionen partiell oder gänzlich an Materialien wie Stahl, Beton, Backstein oder Holz übertragen werden. Ein gebautes Beispiel ist das von den Bieler Architekten :mlzd in Zusammenarbeit mit dem Lehmbauer Martin Rauch realisierte Besucherzentrum der Schweizerischen Vogelwarte in Sempach (2015). Der tragenden Backsteinschale wurde eine Stampflehmwand als Aussenschale vorgesetzt. Die jeweiligen Materialeigenschaften spielen bei Hybridkonstruktionen eine entscheidende Rolle. Da Lehm stark schwindet, können in den Stoffübergängen Fugen und Risse entstehen, die nach der Setzung ausgebessert werden müssen. Überdies nimmt Lehm überschüssige Feuchtigkeit auf, die dauerhaft über der relativen Raumluftfeuchte liegt. Die Kombination Lehm und Holz hat sich schon jahrtausendelang bewährt. Lehm entfeuchtet das ihn umgebende Holz und konserviert es dauerhaft, sodass kein Befall durch tierische Schädlinge stattfinden kann.

Stampflehm und Wärme

In unseren Breitengraden sollte eine Aussenwand, um möglichst wenig Wärme zu transmittieren, einen Wärmedurchgangskoeffizienten von ungefähr $U = 0{,}2\ W/(m^2K)$ erreichen. Ohne zusätzliche Dämmung kann nur eine über vier Meter dicke Stampflehmwand – oder eine zehn Meter dicke Stahlbetonwand – diesen strengen Richtwert erreichen.

Als Isolationen kommen grundsätzlich alle möglichen Dämmungen infrage – ob von der Beschaffenheit einer festen Platte oder einer Schüttung. Bewährt haben sich formbare Isoliermaterialien, die sich unregelmässigen Oberflächen anpassen. Strohhäcksel, Korkschrot oder Blähtonkugeln können mit feinem Lehm oder Trasskalk gemischt als Putz oder Bodendämmung appliziert werden. Öfters eingesetzt werden baubiologische Dämmstoffe wie zum Beispiel Holz-, Zellulose- oder Hanffasern, welche die bauphysikalischen Qualitäten des Lehms wie Dampfdiffusionsoffenheit und Sorption nicht neutralisieren.

Die Wärmeleitfähigkeitswerte dieser Isolationen variieren zwischen 0,03 und 0,05 W/(m²K); in der Regel genügt eine Dicke von zwanzig Zentimetern.

Um der Stampflehmwand eine verbesserte isolierende Wirkung zu verleihen, wird die Wärmedämmung an der Seite oder wie bei einem Zweischalenmauerwerk innerhalb des Bauteils eingebaut. Bei dieser Variante bleibt der Stampflehm von innen und von aussen sichtbar. Bei einer Mittesituierung können – beidseitig einer festen Dämmplatte, zum Beispiel aus Kork – beide Lehmwände simultan gestampft werden. Die Wände stabiliseren sich mittels Holzverankerungen gegenseitig. Bei einer anderen Bauweise wird während dem Stampfen gleichzeitig das lose Isoliermaterial in der Mitte eingestreut und zur Wandverbindung Gewebe eingelegt.

Die aussen liegende Dämmung kann hingegen entweder als verlorene Schalung dienen oder nachträglich montiert werden. Diese bauphysikalisch optimale Konstruktion verfügt über einen im Aussenbereich der Wand liegenden Taupunkt, allerdings ist der Stampflehm von aussen nicht mehr sichtbar.

Bei der Innendämmung sind in der Regel Wärmebrücken in den Bereichen der unterbrochenen Innenwand- und Deckenanschlüsse nicht zu vermeiden. Mittels durchlässigen, kapillaraktiven Dämmungen aus Holzfaser oder mineralischem Multipor kann Feuchtigkeit an der Innenoberfläche absorbiert werden. Die Wand bleibt schadfrei. Die innere Oberfläche kann dann jedoch nicht mehr wärmespeichernd wirken.

Ideal kommt die gute Speicherqualität der Stampflehmwände bei Wänden zum Tragen, die hinter einer Glasfassade erstellt werden. Die durch das Fenster erzeugte «Treibhauswärme» wird von der Wand aufgenommen und zeitverzögert, zum Beispiel nachts, wieder abgegeben. Ein gutes Beispiel liefert die Stampflehmwand des Lehmbauers Martin Rauch im Landeskrankenhaus von Feldkirch (1993) (Index 185).

Bewährt hat sich der Gebrauch von Lehm als Wärmeträger auch bei Wandheizungen. Der Baustoff kann zudem die Funktion des Wärmetauschers übernehmen. Im Lehm eingelegte Rohre übernehmen die kühlen Temperaturen der Wand und geben sie an das Raumklima oder ein anderes Medium weiter.

Das wärmeoptimierte Lehmhaus, welches sich durch wenig Wärmeverluste, hohen speicherbedingten und solaren Wärmegewinn auszeichnet, verfügt über eine gut gedämmte Aussenhülle, viele sonnenbeschienene, mindestens sieben Zentimeter dicke Lehminnenoberflächen, Böden aus gestampftem oder gebranntem Lehm und Decken, die etwa mit Lehmplatten belegt sind. Nach diesen Prinzipien gebaute Häuser können – eine gute Sonnenexposition vorausgesetzt – ohne Heiz- und Kühlenergie auskommen.

Stampflehm und Raumfeuchte

Noch heute werden viele Neubauten vollständig abgedichtet. Der Einbau von Dampfsperren verhindert das Eindringen oder Ausströmen von scheinbar schädigender Feuchtigkeit. Zur Oberflächenbehandlung werden Kunstharzdispersions- und Acrylanstrichstoffe verwendet, welche die Räume fast lückenlos von innen versiegeln. Bei den mitteleuropäischen klimatischen Bedingungen muss für den notwendigen höheren Luftaustausch übermässig gelüftet werden, was im Winter zu hohen Wärmeverlusten führt.

Lehm ist fähig, unterschiedliche Dampfdrücke zwischen innen und aussen auszugleichen. Eine Piséwand ist dampfdiffusionsoffen und atmungsfähig. Das setzt bei der Ausführung voraus, dass keine abdichtenden Baustoffe eingebaut werden und im Bereich der inneren und äusseren Schichten der Aussenwand ein Feuchteaustausch möglich bleibt. Ein drei Zentimeter dicker Lehmputz an den Wänden und Decken genügt, um die anfallende Feuchtigkeit im Innenraum aufzunehmen, zu puffern und wieder abzugeben. Raumfeuchtespitzen werden gebrochen und ausgeglichen (Abb. 03).

Der Mensch erachtet eine Luftfeuchtigkeit von 30 bis 60 Prozent in Räumen als angenehm. Zu feuchte Raumluft kann zu Bauschäden an Oberflächen und übermässigem Schwitzen der Personen im Raum führen; zu trockene Raumluft hingegen führt zu Atemproblemen, Schleimhautaustrocknungen sowie zu elektrostatischen Aufladungen. Die Luftfeuchtigkeit in Räumen mit Lehmoberflächen tendiert gegen 50 Prozent. Dieser Wert ist etwas höher als in konventionell errichteten Häusern, gilt aber als behaglich und aus medizinischer Sicht optimal. Eine Lehmoberfläche ist in der Lage, viel Wasserdampf zu absorbieren – etwa sieben Mal mehr als eine mit maschinellem Gipsputz oder einer Dispersionsfarbe versehene Oberfläche (Abb. 04)[2].

Die mineralischen Inhaltsstoffe des Lehms schaffen nicht nur ein angenehmes Raumklima, seine körnigen Silt- und Sandanteile filtern Luftpartikel und binden so Schadstoffe. Menschen, die sich länger in

2 Wulf Eckermann, Christof Ziegert: «Auswirkungen von Lehmbaustoffen auf die Raumluftfeuchte», 2006, http://lehmbau.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/Auswirkung_von_Lehmbaustoffen_auf_die_Raumluftfeuchte_01.pdf (Stand 14.9.2018).

Abb. 03
TAGESVERLAUF DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT
Tageszeit, relative Luftfeuchtigkeit in [%]

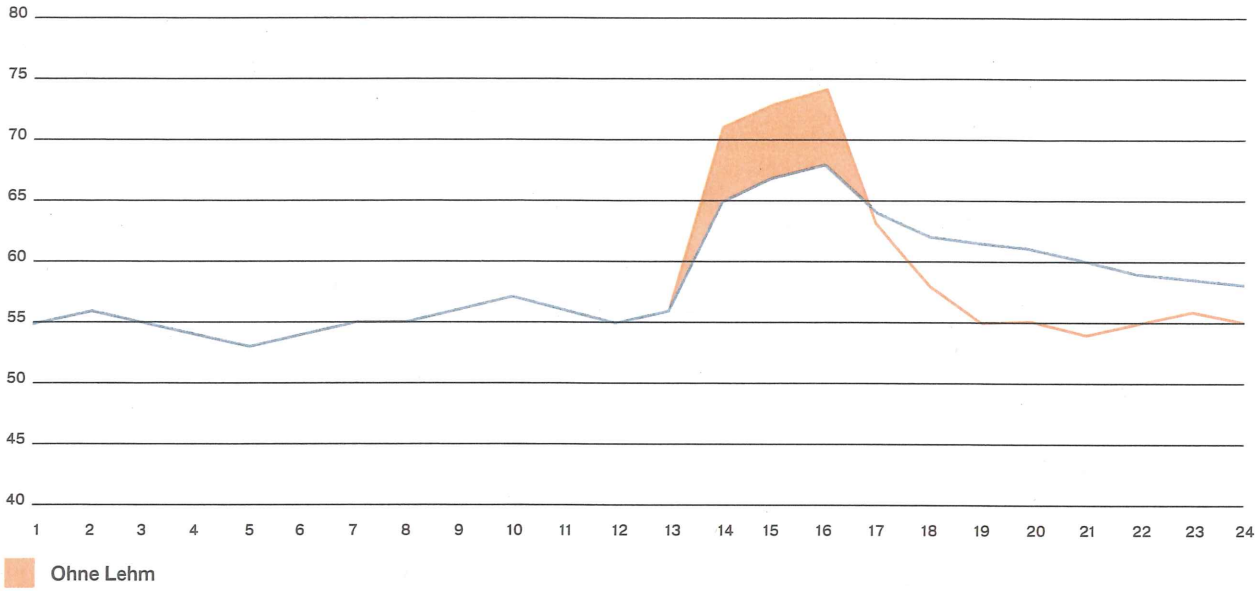
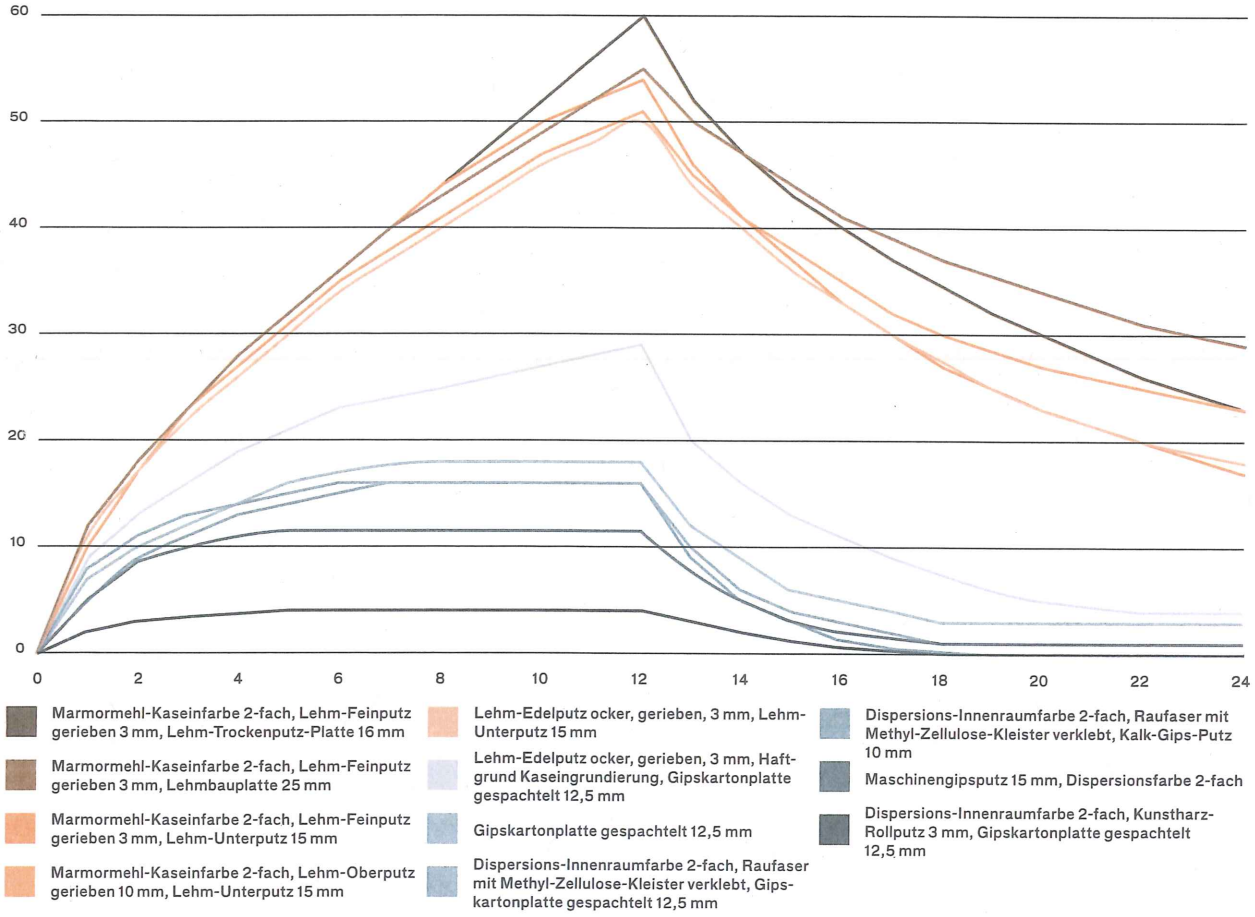


Abb. 04
SORPTIONSVERHALTEN VON OBERFLÄCHENMATERIALIEN BEI VARIIERENDER RELATIVER LUFTFEUCHTIGKEIT
Zeit in [h], Wasserdampfsorption in [g/m²]



Räumen mit Lehmoberflächen aufhalten oder darin wohnen, empfinden die Luft «frischer» und frei von Gerüchen.

Der wasseranziehende Lehm verbessert – vor allem bei geringem Luftwechsel – zudem die hygienischen Bedingungen von Innenräumen.

Im neuen Bettenhaus des Stadtspitals Triemli in Zürich (2016) (Index 096) von Aeschlimann Hasler Partner wurden die klimatischen Vorteile lehmverputzter Decken ausgenutzt. Aufgrund des durch den Einbau der Lehmdecken resultierenden kleineren Entfeuchtungsbedarfs konnten nicht nur Energie, sondern auch grosse Lüftungsgeräte eingespart werden.

Stampflehm und Energie

Die zwei für das Bauen und Wohnen bestimmenden Grössen des Energieverbrauchs sind einerseits die Energiemenge, die während des Betriebs erforderlich ist, und andererseits die Energiemenge, die für die Erstellung des Gebäudes benötigt wird.

Das Ausmass an verbrauchter Betriebsenergie ist primär abhängig von der Kompaktheit des Gebäudes und vom durch die Aussenhülle transmittierten Wärmeverlust, der je nach Wärmedämmung unterschiedlich hoch ausfällt. Bestimmend sind weiter die Lage und Grösse der Fensteröffnungen, die vor allem in Südausrichtung passive Sonnenenergienutzung ermöglichen.

Je nach Temperaturunterschied zwischen der Innenluft und den raumumschliessenden Materialien entstehen Luftströmungen. Bei wenig Luftzug und temperierten Baustoffoberflächen fühlt sich der Mensch bereits bei 18° C wohl und heizt weniger; auch die speichernden Stampflehmwände minimieren den Wärmebedarf.

Im Zuge der immer strenger werdenden Energievorschriften sind einfach umsetzbare bautechnische Massnahmen zur Minimierung des Heizwärmebedarfs praktisch ausgeschöpft. Vor diesem Hintergrund rückt der für die Erstellung des Gebäudes nötige Energieaufwand (graue Energie) in den Fokus.

Bei Neubauten entspricht der durchschnittliche Bedarf von ungefähr 100 MJ/m²a sowohl der Betriebsenergie als auch demjenigen der grauen Energie.[3] Beide Energiewerte besitzen die gleiche Einheit: Energiebedarf pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und pro Jahr (MJ/m²a). Bei der Ermittlung der grauen Energie wird der Aufwand für die Herstellung aller Schichten eines Bauteils kalkuliert. Die Summe wird dann durch die Lebensdauer der Schicht dividiert – bei Rohbaubauteilen beträgt sie etwa sechzig Jahre – und auf ein Jahr und einen Quadratmeter Energiebezugsfläche berechnet.

Bei Stampflehm fällt der Aufwand an grauer Energie – ermittelt auf der Basis von nicht erneuerbarer Primärenergie – je nach Verarbeitung sehr unterschiedlich aus. Lehm aus dem Aushub, der auf

3 SIA 2032, Beispielhaus.

Abb. 05

MATERIAL	GRAUE ENERGIE (KJ/m²)
PISÉ, 60 CM, UNGEDÄMMT	278
STAHLBETON, 30 CM, UNGEDÄMMT	820
PISÉ, 60 CM, MIT 20 CM HOLZSPÄNEN ODER ZELLULOSEFLOCKEN GEDÄMMT	320
PISÉ, 60 CM, MIT 14 CM POLYURETHAN ODER POLYSTYROL GEDÄMMT	700
PISÉ, 60 CM, MIT 10 VOLUMENANTEILEN MASSIVHOLZ, MIT 20 CM HOLZSPÄNEN ODER ZELLULOSEFLOCKEN GEDÄMMT (HOLZSTÄNDERBAU)	370
PISÉ, 60 CM, MIT 10 VOLUMENANTEILEN STAHLBETON, MIT 20 CM HOLZSPÄNEN ODER ZELLULOSEFLOCKEN GEDÄMMT (BETONSKELETTBAU)	480
PISÉ, 60 CM, MIT 1,5 VOLUMENANTEILEN STAHL, MIT 20 CM HOLZSPÄNEN ODER ZELLULOSEFLOCKEN GEDÄMMT	1200
HOLZSTÄNDERWAND, MIT 20 CM ZELLULOSEFLOCKEN GEDÄMMT	500
BACKSTEIN-ZWEISCHALENMAUERWERK, MIT 20 CM MINERALWOLLE GEDÄMMT	750
STAHLBETONWAND, 30 CM, MIT 14 CM POLYURETHAN ODER POLYSTYROL GEDÄMMT	1250

Graue Energie von Stampflehm, Hybridsystemen und üblichen Wandaufbauten (gedämmte Konstruktion U = ca. 0,2 W/m²K)
Berechnung durch AAB Atelier für Architektur und Bauökologie

der Baustelle maschinell zerstückelt, dann in Wannen oder Mischern aufbereitet und mittels Kranbewegung an die Einstampfstelle bewegt wird, benötigt praktisch keine graue Energie.[4]

Mehr Energie wird benötigt, wenn der Lehm über eine längere Strecke von der Aushubstelle bis an den Standort der Vorfabrikation transportiert werden muss und dort ein mechanischer Stampfer, ein Fliessband und ein Kleinbagger in Betrieb sind. Die gestampfte Wand wird innen bei 20° C getrocknet und weiter an die Baustelle geliefert, wo sie nachbearbeitet sowie zur Fassade aufgebaut wird. Der menschliche Beitrag zur Wanderrichtung ist dabei vernachlässigbar klein (100 W/h).

Dieser Beschrieb entspricht in etwa dem Verarbeitungsprozess der Stampflehmwände bei dem von Herzog & de Meuron entworfenen Kräuterzentrum für den Bonbonhersteller Ricola in Laufen (2014) (S. 197). Die Fachhochschule Yverdon hat die Prozessschritte in der Erstellung der Stampflehmwand mit 0,46 MJ/kg bilanziert. Bei einer sechzig Zentimeter dicken Wand mit einer Rohdichte von $\rho = 2000\,kg/m^3$ ergeben sich 557 MJ/m^2.[5] Den Berechnungen (Abb. 05) liegt ein Durchschnittswert von 278 MJ/m^2 zugrunde.

Unter den die Stampflehmaussenwand ergänzenden möglichen Wärmedämmungen existieren grosse Unterschiede hinsichtlich der enthaltenen Grauenergie. Bauökologische, meist natürliche, vollständig recyclebare Isolationen wie Zelluloseflocken, Holzspäne oder Hanfplatten benötigen ungefähr zehn Mal weniger graue Energie als Polystyrol- oder Polyurethanplatten.

Ausgehend von einem Wärmedurchgangskoeffizienten der Dämmung von $U = 0{,}2\,W/m^2K$ wurden im Vergleich (Abb. 05) unterschiedlich starke Isolationen gewählt, die diesen U-Wert gewährleisten.

In der Tabelle sind Hybridsysteme von Stampflehm mit Stahl, Beton und Holz kalkuliert und mit konventionellen Wandaufbauten verglichen. So unterschiedlich, wie die in der Tabelle angegebenen Bauteilwerte sind, fallen auch die resultierenden Grauenergiewerte von Gebäuden mit vergleichbarer Baustoffwahl bzw. vergleichbaren Wandaufbauten aus.

Das grosse Sparpotenzial im Bereich der grauen Energie, insbesondere bei Verwendung von Naturprodukten wie Lehm oder Holz, ist offensichtlich.

Wenn Energiesparmassnahmen in der Baubranche auch im Bereich der Grauenergie durchgesetzt werden könnten, hätte dies Auswirkungen auf die künftige Nachfrage nach Stampflehm.

4 SIA D0123, Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten.

5 Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, Ökobilanzdaten im Baubereich, Bern, 2016.