

Mit Kalk und Gips stabilisierte Lehme für Adobes in der Purépecha Region, Michoacán, Mexiko

Der mexikanische Staat Michoacán wird von den Eje Vulkanen, den Sierra Bergen und Cocos Plaques durchkreuzt, sodass der Vulkanismus hier bedeutend war. Es gibt viel vulkanisches Gestein und Mineralien, wie das Tonmineral Montmorillonit. In Michoacán findet man daher auch viele Lehmgruben, denn Lehm wurde von den Einwohnern der vorspanischen Zeit zum Herstellen von Adobesteinen und für keramische Produkte verwendet.

Trotzdem können Baufehler dadurch entstehen, dass die dem Lehm eigene Reaktion auf die Witterung nicht berücksichtigt wird und die Lehmsteine falsch getrocknet werden während des Produktionsprozesses. Diese Fehler zeigen sich durch Verfallserscheinungen in den Lehmgebäuden. Falsch gefertigte Adobes sind häufig nicht formgerecht, zu feucht, bekommen leicht Risse und werden so instabil und können sich langsam auflösen. Damit konstruierte Lehmgebäude benötigen ständige Wartung.

Um dies zu vermeiden, haben einheimische Gruppierungen in Mexiko über die Jahrhunderte hinweg mit verschiedenen Zumi schungen von organischen und anorganischen Materialien aus der Natur versucht, die Produktionsmethoden von Adobes zu verbessern. Dafür benutzten sie Stroh, Kiefern nadeln, Kokos nussfasern und den Dung von Kühen und Pferden. So überlebte der Lehm gebau trotz seiner instabilen und feuchteaufnehmenden Eigenschaften dank verbesserter Herstellungs- sowie traditioneller Wartungsmethoden.

Tonmaterialien, die bisher für die unterschiedlichen Zwecke im Bauingenieurwesen verwendet wurden, sind nach einem einheitlichen System je nach ihrer Ausdehnbarkeit und Druckfestigkeit klassifiziert (SUCS). Die alten Methoden zur Anpassung der Bauweisen an die Eigenschaften von Baulehm und die damit verbundene notwendige periodische Wartung der Lehmgebäude hat dazu beigetragen, dass der Baustoff als solcher überlebt hat. Aber im Hinblick auf die Veränderungen in unserer Umwelt, in unserem Gemeinwesen und der Baukultur gestaltet sich die Wiederverwendung des Baustoffs Lehm heute immer schwieriger. Das ist der Hauptgrund für die Untersuchung und Bewertung der Stabilisierung von Baulehm mit Kalk und Gips.

Zunächst wurden die physikalischen und mechanischen Eigen schaften der Adobelehme untersucht und dann mit den mit Kalk und Gips im Verhältnis von 2, 4, 6, 8 und 10 % zum Lehm gewicht stabilisierten Proben im Labor verglichen (Abb. 3 bis 4). Der verwendete Kalk und Gips wurde industriell gefertigt. Gips bestand

aus zur Hälfte gelöschem Kalziumsulfat ($\beta\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Zusätzlich wurde eine Lehmmischung ohne mineralische Zusatzstoffe zur Stabilisierung benutzt zum Vergleich mit den in den gängigen Bauregeln vorgegebenen Werten (Arnal, 1996: 653-655; Colegio de Ingenieros Civiles, 1999: 135-143).

Tabelle 1 zeigt, dass der verwendete Kalk den Vorschriften entspricht, die für den Ingenieurbau gelten. Tabelle 2 zeigt die physikalischen Eigenschaften des verwendeten Sandes. Es handelt sich dabei um reinen Sand, frei von jeglichen Schadstoffen. Tabelle 3 listet mechanische Standards für Adobesteine auf. In Tabelle 4 werden die Stabilisatoren Kalk und Gips nach SUCS klassifiziert.

Sand, als Bestandteil von Lehm, verstärkt die mechanischen Eigenschaften, ändert jedoch die Farbe der Adobesteine und wird daher ungern verwendet. Eine Zumischung von fast 10 % der Kalk- und Gipsmenge (nach Gewicht) lässt die Steine verblassen und reduziert außerdem deren gewünschte Druckfestigkeit. Es ist bewiesen, dass die Beimischung von Kalk und Gips zum Lehm für die Herstellung von Adobes die Stabilität, den mechanischen Widerstand und die Haltbarkeit der Steine erhöht hat im Vergleich zu Adobes aus Lehm ohne Beimischungen. Das Aussehen der Steine wird jedoch verändert. Die besten Ergebnisse wurden bei einer Beimischung von 4 bis 6 % Kalk und Gips erzielt. Zwischen beiden Stabilisatoren bestehen keine signifikanten Unterschiede.

¹ Für vollständige Kontakt details siehe Adressenverzeichnis

**W. Martinez, L. Guerrero, E. Alonso, J.C. Rubio, J.A. Bedolla, F. Velasco,
M. Avalos, M. Olguin**

Universities of Michoacán, Xochimilco, Querétaro & Ensenada, Mexico¹

Lime and Gypsum Stabilized Clays for Adobes in the Purépecha region, Michoacán, Mexico

The Mexican state of Michoacán is crossed by the Eje Volcánico Transversal, the Sierra Mountains and the Cocos Plate, so volcanic activity is very significant and there are plenty of igneous stones which, due to meteoric action, have usually changed into secondary minerals, such as the young clays called montmorillonites. In Michoacán quarry clays are abundant and it has been a common building material used by the Pre-Hispanic Purépecha groups to make adobes and ceramic products. Nevertheless, some of the traditionally built structures have faults as a result of the reaction of clays to the climatic conditions by drying during processing. This situation generates various deterioration problems in structures built with earth. These adobes have the disadvantages of deformation, hygroscopic absorption, cracking, gradual disintegration and volumetric instability that result in the need for continuous maintenance of structural systems. In order to prevent these defects in the clay used as a construction material, ethnic groups have probed through history to find the various organic and inorganic natural additives used to modify adobes. They used materials like straw, pine needles, coconut fibers and cow or horse dung.

The useful life of this type of building material is conditioned by the volumetric instability of the clays and their hygroscopic behavior. Its survival has been due to the adaptation of building methods associated with ancestral procedures for periodic maintenance. But due to the changes in the natural environment, the traditions of the communities and the loss of their building culture, it is becoming increasingly difficult to obtain this type of product. An investigation has therefore been initiated to evaluate the possibility of stabilizing adobe with gypsum or lime.

In this work the adobe clays were analyzed, beginning with the physical and mechanical properties of the clay samples compared with specimens enhanced with stabilizers like lime or plaster in proportions of 2, 4, 6, 8 and 10% of the weight of the clay in laboratory conditions. The lime and plaster used for this work were of industrial quality. The gypsum is a hemi hydrated β calcium sulphate ($\beta\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Clays have been used as a material for different purposes. For its use in the field of civil engineering there is the 'Unified System for Classification of Soil' (SUCCS), where soils can be identified as expansionary or "inert" material, and each one has different classification, low and high compressibility, and according to their location it is possible to predict their expansive capacity.

This work compares the property indices of adobes stabilized with gypsum and lime and a material sample without stabilizer and the level of volumetric stabilization, depending on the different proportion of stabilizer added. The clays came from the region of Santiago Undameo, Michoacán, where they are currently being exploited for use in ceramic processes (bricks, tiles and pottery). The clays were classified under SUCCS (Juárez, 1981: 34-49). The tests were verified by triplication and the resulting values are the arithmetical averages in each case. The lime conformed to ASTM standards. The clay was mixed with mineral stabilizers (lime or gypsum) in different proportions in weight. The mixtures were formed into cubic specimens, briquettes, beams or prisms in order to assess their mechanical characteristics, also according to the ASTM standards.

A sample of the clay mix was also prepared without the addition of minerals stabilizers for comparison with the values included in the local building regulations. (Arnal, 1996: 653-655) (Colegio de Ingenieros Civiles, 1999: 135-143).

Table 1 shows that the lime employed complies with the values listed in the specifications for its use as a material in civil engineering. In Table 2 are the results of the physical characteristics of sands. One can see that it is good quality sand, not affected by the environment. Table 3 shows the mechanical properties of the specimens, the corresponding standard and the results. The results of the Atterberg limits classified the soil used in the manufacture of adobes as a clay of high plasticity or CH according to SUCCS, as summarized in Table 4.

The use of sands as an integral part of clays also increases their mechanical resistance, but some producers do not allow for the change in color of adobes. A proportion of gypsum or lime higher than 10% by weight blurs the color of the clay and higher percentages do not provide optimum resistance to compression. Adobes where lime and gypsum were added to the mix had greater volumetric stability and mechanical resistance, compared with clays without additives. We can conclude, therefore, that the inclusion of volumetric stabilizers such as lime and gypsum increases the mechanical resistance of adobes, as well as their visual appearance and durability. The best results were achieved where the percentages of lime or gypsum were 4 to 6%. There is no significant difference between the uses of these two materials.

¹ See Address List for full contact details



Tabelle 1: Tests mit Kalkstabilisatoren in Adobes

Untersuchung	Standard	Ergebnisse
Qualität des Kalkes	ASTM C110-00	Hydraulischer Kalk
Grad der Hydratation	ASTM C110-00	9,21 %
Verarbeitungskonsistenz	ASTM C110-00	58 %, 19 mm Eindringtiefe

Tabelle 2: Tests mit feinen Zuschlagstoffen in Adobes

Untersuchung	Standard	Ergebnisse
Zuschlagstoffe	ASTM D 75	500 g
Saugfähigkeit in %	ASTM C128-97	1,78 %
Spezifische Gravitation	ASTM C128-97	2,33
Trockengewicht nach Volumen PBS	ASTM C29/C29M-97	1,14 g/cm³
Volumengewicht trocken, verdichtet PVSV	ASTM C29/C29M-97	1,16 g/cm³
Organische Bestandteile	ASTM C40-99	No. 1
Vergleichswert zu Sand	ASTMD 2419	98,19 %
Material, das durch ein 200 Sieb geht	ASTM C117-95	5,87 %
Korngröße MF	ASTM C136-96A	3,03

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften der Adobe Prüfsteine

Untersuchung	Standard	Größe der Proben
Druck f_c	ASTM C109-63-2000	5 cm x 5 cm x 5 cm
Zug f_t	ASTM C190-59-2000	de $\frac{3}{4}$ " x $1\frac{1}{2}$ " x 4"
Biegen f_f	ASTM C78-2000	5 cm x 5 cm x 20 cm

Tabelle 4: Klassifikation der Lehme mit Gips- und Kalkstabilisatoren

Atterberg		Stabilisator % (Gips)					Stabilisator % (Kalk)				
Grenzen	Spuren	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
LL	49,94	52,97	55,2	47,5	54,9	55,7	45,66	44,5	45,71	49,6	50,75
LP	15,0	15,5	13,3	19,8	18,3	25,8	23,6	3,2	31,1	29,0	35,8
IP	34,9	37,5	41,9	27,7	36,6	29,9	22,1	41,3	14,7	20,6	14,9
LC	11,99	9,75	14,98	16,05	12,56	14,18	14,11	19,90	22,04	23,55	30,36
CL	13,1	15,3	15,8	15,0	14,5	16,1	12,9	9,6	7,8	7,0	6,7

1 Der Stabilisierungsprozess
The stabilization process

2 Vergleich der Stabilisierung
Evaluation of the samples

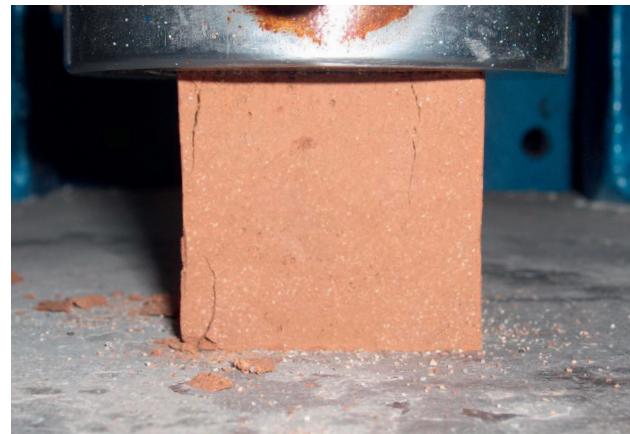
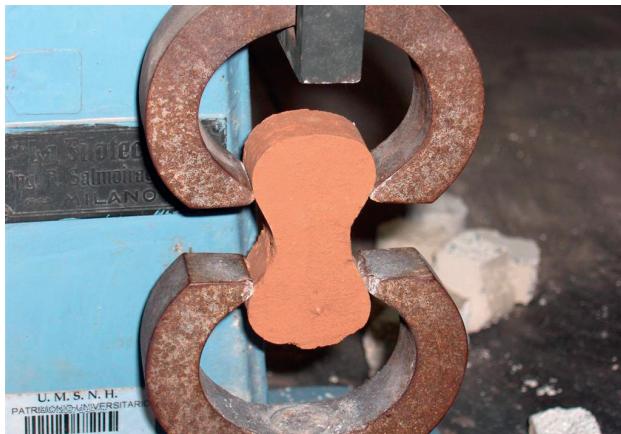


Table 1: Tests made on lime for use in adobes

Test	Standard	Results
Quality of lime	ASTM C110-00	Hydrated lime
Refinement of the hydrated lime	ASTM C110-00	9.21 % retained
Normal consistency of the sample	ASTM C110-00	58%, penetration 19 mm

Table 2: Tests made on fine sand for use as additives in adobes

Test	Standard	Results
Material sample tested	ASTM D 75	500 g
Percentage of absorption	ASTM C128-97	1.78 %
Specific gravity G_E	ASTM C128-97	2.33
Volumetric weight-dry loose PBS	ASTM C29/C29M-97	1.14 g/cm ³
Volumetric weight-dry rammed PVSV	ASTM C29/C29M-97	1.16 g/cm ³
Organic impurities (colorimetric)	ASTM C40-99	No. 1
Sand equivalent	ASTMD 2419	98.19 %
Material that passes the 200 mesh	ASTM C117-95	5.87 %
Granulometry MF	ASTM C136-96A	3.03

Table 3: Mechanical properties of the adobe specimen

Test	Standard	Dimensions of specimen
Compression f_c	ASTM C109-63-2000	5 cm x 5 cm x 5 cm
Tension f_t	ASTM C190-59-2000	de $\frac{3}{4}$ " x $1\frac{1}{2}$ " x 4"
Flection f_f	ASTM C78-2000	5 cm x 5 cm x 20 cm

Table 4: Classification of the clays with their stabilizers

Atterberg		Stabilizer % (Gypsum)					Stabilizer % (Lime)				
Limits	Sample	2%	4%	6%	8%	10%	2%	4%	6%	8%	10%
LL	49.94	52.97	55.2	47.5	54.9	55.7	45.66	44.5	45.71	49.6	50.75
LP	15.0	15.5	13.3	19.8	18.3	25.8	23.6	3.2	31.1	29.0	35.8
IP	34.9	37.5	41.9	27.7	36.6	29.9	22.1	41.3	14.7	20.6	14.9
LC	11.99	9.75	14.98	16.05	12.56	14.18	14.11	19.90	22.04	23.55	30.36
CL	13.1	15.3	15.8	15.0	14.5	16.1	12.9	9.6	7.8	7.0	6.7

3 Zugtest mit dem Achterling
Direct tension test

4 Drucktest
Compression test