



01. Februar 2024

# Impulsvortrag A4F online-Seminar „Erdbebenresilienz im Lehmbau“

Prof. Dr.-Ing. Christof Ziegert, ZRS Ingenieure GmbH

## Ausgangspunkt

Verunsicherung, ob der Lehmbau, als einer der besonders nachhaltigen vernakularen Bauweisen, eine ausreichende Erdbebenresilienz aufweist oder eben vielleicht doch nicht.

Auslöser dieser aktuellen Verunsicherung waren und sind Presseberichte und Vor-Ort-Impressionen zu den Beben in Marokko, der Türkei, Syrien etc. bei denen auch zahlreiche Lehmbauten beschädigt wurden.

## Zielgruppe des Seminars:

Architekt\*innen, Bauingenieur\*innen und Bauschaffende, die in Erdbebengebieten im Kulturerhalt und der Entwicklungszusammenarbeit tätig sind und dabei Lehmbaumstoffe und Lehmbauweisen vorfinden oder verwenden möchten.



Foto: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

?

Ist das die Lösung?





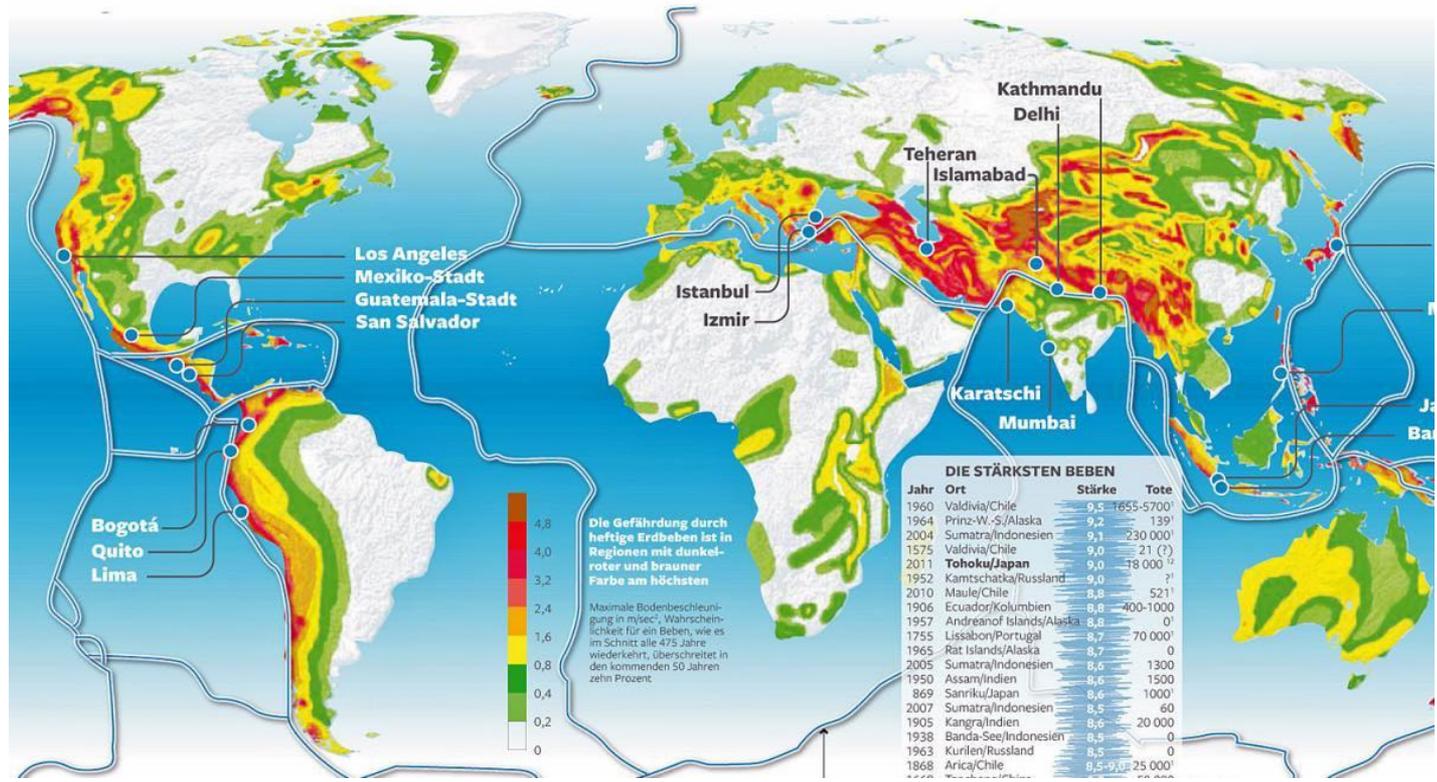
## Verantwortliche Positionierung über Diskussion zu folgenden Fragestellungen

- Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?
- Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?
- Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wiederhergestellt werden?
- Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?
- Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

## Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?

Subjektiver Eindruck von den zurückliegenden Erdbeben: zahlreiche Lehmbauten wurden beschädigt oder sind eingestürzt.

Objektive Betrachtung: in vielen Regionen mit mittlerer bis hoher Erdbebenbeanspruchung gibt es einen hohen bis überwiegenden Anteil an Lehmbauten. Selbst bei gleicher Schädigungsquote ergibt sich damit der o.g. subjektive Eindruck.

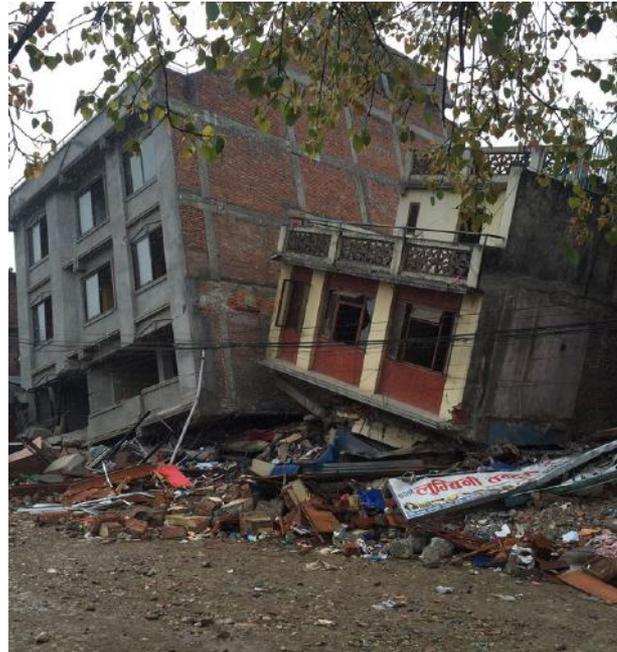


Karte: Welt, Springer Verlag

## Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?

Eigene Analyse und Wahrnehmung z.B. Nepal 2015:

- „schlecht gebaute“ und/oder vorgeschädigte Stahlbetonbauten wiesen erhebliche Schäden auf
- „gut gebaute“ und intakte Stahlbetonbauten wiesen keine oder nur geringe Schäden auf
- „schlecht gebaute“ und/oder vorgeschädigte Lehmbauten wiesen erhebliche Schäden auf
- „gut gebaute“ und intakte Lehmbauten wiesen keine oder nur geringe Schäden auf
- „schlecht gebaute“ ...



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?

Materialtechnische Betrachtung:

Verhältnis von Druck- zu Schubtragfähigkeit von Lehmbauten ist etwa gleich wie bei Ziegelbauten. Aufgrund der geringeren Druckfestigkeit werden Lehmbauten weniger hoch gebaut. Damit ergibt sich dann auch eine (deutlich) geringere Schubbeanspruchung im Erdbebenlastfall und damit in Summe ein in etwa gleiches Sicherheitsniveau wie bei Ziegelbauten.

Gebäudeklassen   Building classes				
1	2	3	4	5
a) freistehende Gebäude $\leq 7$ m OKF mit $\leq 2$ Nutzungseinheiten von insgesamt $\leq 400$ m <sup>2</sup> b) freistehende land- oder forstwirtschaftliche Gebäude	Gebäude $\leq 7$ m OKF, mit $\leq 2$ Nutzungseinheiten von insgesamt $\leq 400$ m <sup>2</sup> Building $\leq 7$ m upper edge of foundation, with $\leq 2$ units designated for a specific use of a total	Sonstige Gebäude $\leq 7$ m OKF Other buildings $\leq 7$ m upper edge of foundation	Gebäude $\leq 13$ m OKF mit Nutzungseinheiten von insgesamt $\leq 400$ m <sup>2</sup> Building $\leq 13$ m upper edge of foundation, with units designated for a specific use of a total of	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude Other buildings, including buildings below ground

Die Schubtragfähigkeit von Lehmbauten und Ziegelbauten ist geringer als die von Stahlbetonbauten. Sie lässt sich durch geeignete Maßnahmen moderat erhöhen.

Skizze: Bauordnung NRW

## Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?

Materialtechnische Betrachtung:

Die historischen, meist zweischalig gemauerten Natursteinbauten weisen gegenüber Lehmbauten eine deutlich geringere Erdbebenresilienz auf, da die Wände mittig aufreißen und damit meist schalig-beulend versagen.



Fotos:  
ZRS Ingenieure,  
Christof Ziegert



## Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?

Eigene Wahrnehmung z.B. Nepal 2015:

- „schlecht gebaute“ und/oder vorgeschädigte Stahlbetonbauten wiesen erhebliche Schäden auf
- „gut gebaute“ und intakte Stahlbetonbauten wiesen keine oder nur geringe Schäden auf
- „schlecht gebaute“ **und/oder vorgeschädigte Lehmbauten** wiesen erhebliche Schäden auf
- „gut gebaute“ und intakte Lehmbauten wiesen keine oder nur geringe Schäden auf
- „schlecht gebaute“ ...



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## FEUCHTE- UND SALZSCHÄDEN

Unterschied im Schadensbild Ziegel- und Lehmsteinmauerwerk aufgrund unterschiedlichem Verdunstungsverhalten



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## FEUCHTE- UND SALZSCHÄDEN

Der Querschnitt ist reduziert und der Restquerschnitt weist eine erhöhte Feuchte und damit eine geringere Festigkeit auf.

Feuchte- und salzgeschädigte Lehmbauten weisen eine deutlich geringere Erdbebenresilienz auf!  
Dies stellt die Hauptursache für das Versagen im Erdbebenlastfall dar!

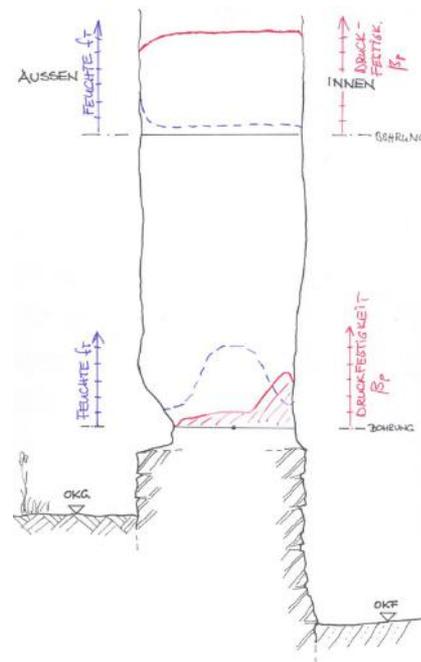
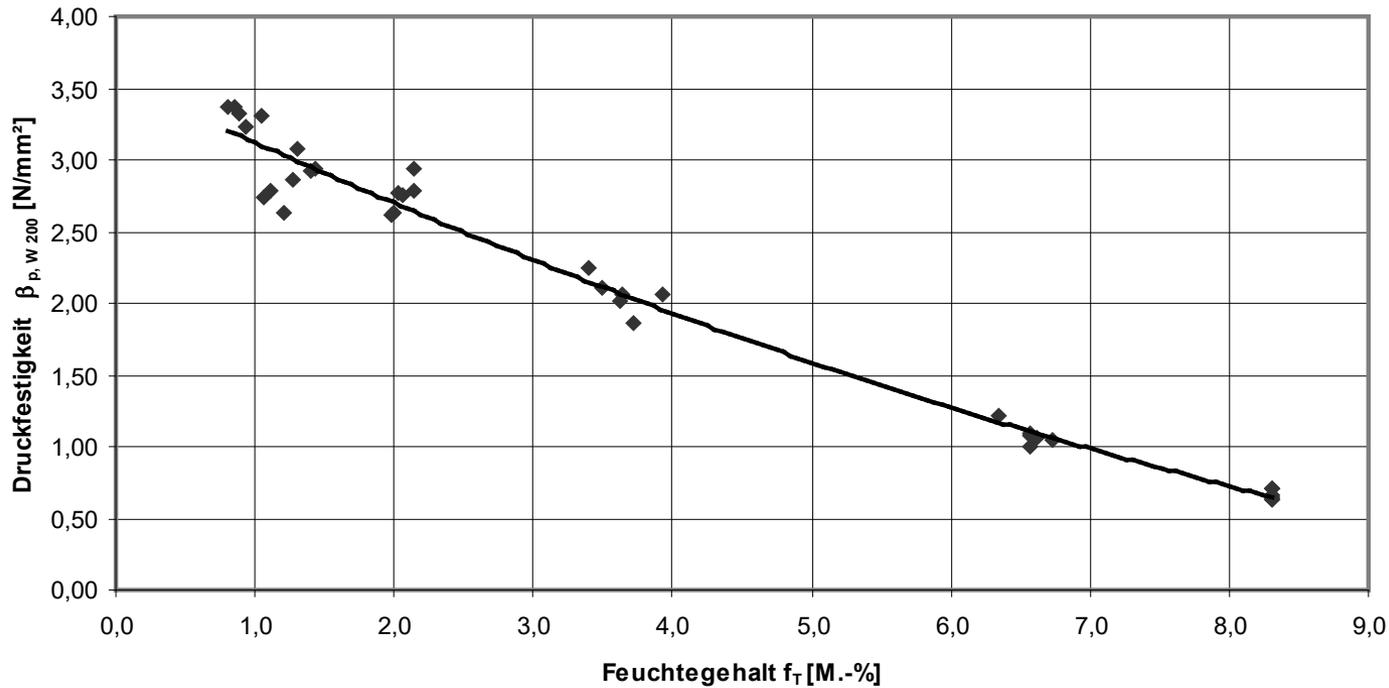


Foto: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert  
Skizze: Jan Bredemeyer/Christof Ziegert



# COMPRESSIVE STRENGTH

Compressive strength is depending on the material humidity!





## Verantwortliche Positionierung über Diskussion zu folgenden Fragestellungen

- Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?
- Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?
- Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wiederhergestellt werden?
- Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?
- Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

## Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?

Ja, es bestehen deutliche Unterschiede!

Holz- und Bambustragwerke mit nichttragenden Lehmausfachungen weisen eine deutlich höhere Erdbebenresilienz auf, als alle Massivlehmbauweisen. Jedoch sind Leichtbauweisen nicht für jede Klimazone sinnvoll. Außerdem stellen in wärmeren Regionen Termiten ein ernsthaftes Problem für die Dauerhaftigkeit des Tragwerks dar. Diese beträgt ohne Schutzmittel oft nur 5 bis 10 Jahre.



Fotos: ZRS, Christof Ziegert / Arne Thönnissen

## Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?

Ja, es bestehen deutliche Unterschiede!

Holz- und Bambustragwerke mit nichttragenden Lehmausfachungen weisen eine deutlich höhere Erdbebenresilienz auf, als alle Massivlehmbauweisen. Jedoch sind Leichtbauweisen nicht für jede Klimazone sinnvoll. Außerdem stellen in wärmeren Regionen Termiten ein ernsthaftes Problem für die Dauerhaftigkeit des Tragwerks dar. Diese beträgt ohne Schutzmittel oft nur 5 bis 10 Jahre.



Fotos: ZRS Ingenieure,  
Christof Ziegert



## Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?

Ja, es bestehen deutliche Unterschiede!

Auch innerhalb der Massivlehmbauweisen bestehen deutliche Unterschiede. Die Lehmwellerbauweise schneidet dabei wesentlich besser ab, als der Stampflehmbau und Lehmsteinbau.

Lehmwellerbau



Stampflehmbau



Lehmsteinbau



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## SOLID EARTH BUILDING TECHNIQUES

### EARTH BLOCKS

Earth block buildings, Shibam, Yemen, 2004



photo: ZRS

## SOLID EARTH BUILDING TECHNIQUES

### COB TECHNIQUE



photos: ZRS

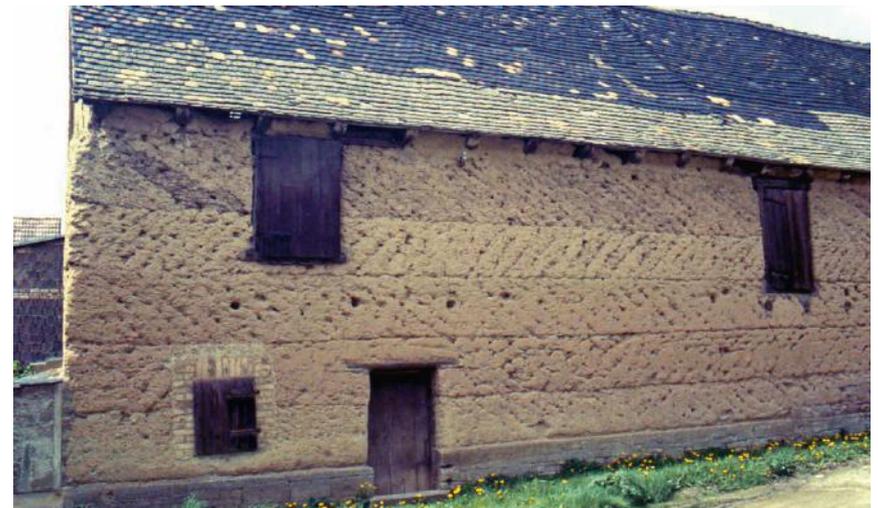
## SOLID EARTH BUILDING TECHNIQUES

### COB TECHNIQUE

distinguishing features:

- severed fiber
- specific arrangement in layers
- no formwork holes

clearly readable progress of work.  
Barn in Albersroda, Saxony-Anhalt, 1998



photos: ZRS, Christof Ziegert

## SOLID EARTH BUILDING TECHNIQUES

### COB TECHNIQUE

distinguishing features:

- severed fiber
- specific arrangement in layers
- no formwork holes

Kabul, Afghanistan, 2003

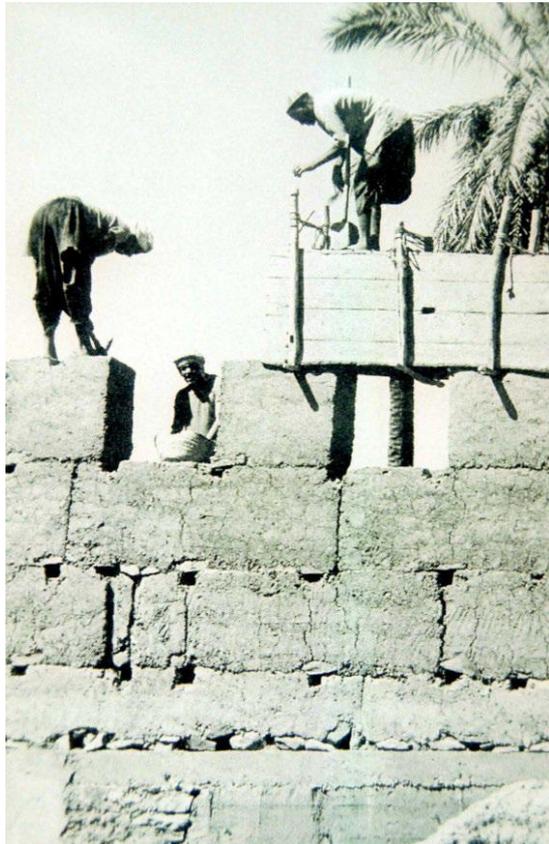


photos: ZRS, Christof Ziegert

## SOLID EARTH BUILDING TECHNIQUES

### RAMMED EARTH

Roman rammed earth buildings. Fujuan, China



## SOLID EARTH BUILDING TECHNIQUES

### RAMMED EARTH

Roman rammed earth buildings. Kasba near Skoura, Morocco

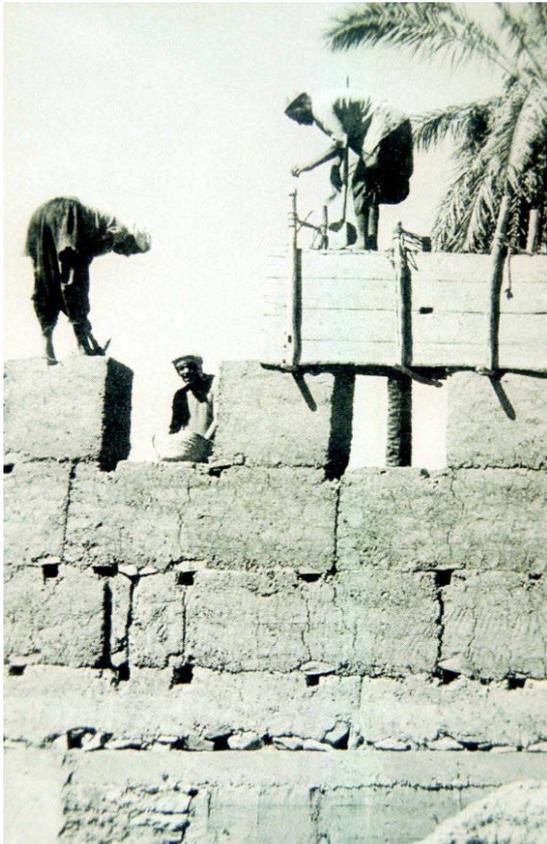


Foto: ZRS Ingenieure,  
Christof Ziegert

## EIGENSCHAFTEN VON LEHMBAUSTOFFEN UND LEHMBAUTEILEN

### ROHDICHTE

ROHDICHTE [kg/m <sup>3</sup> ] Lehmbaustoff/ Lehmbauteil	nach Lehm bau Regeln	Historischer Bestand [Erfahrungswerte ZRSI]		
	von – bis [kg/m <sup>3</sup> ]	von – bis [kg/m <sup>3</sup> ]	nach Lehm bau Regeln	Historischer Bestand [Erfahrungswerte ZRSI]
			von – bis [kg/m <sup>3</sup> ]	von – bis [kg/m <sup>3</sup> ]
Stampflehm	1700 – 2400	1700 – 2000	<b>Platten</b>	
Wellerlehm	1500 – 1800	1450 – 1650	Lehmplatten	1200 – 1800 -
Strohlehm/ Faserlehm	1200 – 1700	1000 – 1450	Leichtlehmplatten	300 – 1200 -
Leichtlehm	300 – 1200		Trockenbauplatten	300 – 1200 -
<b>Schüttungen</b>			<b>Mörtel</b>	
Lehmschüttungen	1200 – 2200	800 – 1400	Lehm-Mauermörtel	1200 – 1800 1500 – 1700
Leichtlehmschüttungen	300 – 1200		Leichtlehm-Mauermörtel	800 – 1200 -
<b>Steine</b>			Lehm-Putzmörtel	1200 – 1800 1200 – 1650
Lehmsteine	1200 – 2200	1500 – 1800	Leichtlehm- Putzmörtel	600 – 1200 -
Leichtlehmsteine	600 – 1200		Lehm-Spritzmörtel	600 – 1800 -

## CHARACTERISTICS OF EARTH BUILDING MATERIALS

### STABILITY

The strength of earth building materials is relatively low.

The minimum compressive strength for modern load-bearing earth building materials is 2 N / mm<sup>2</sup>.

COMPRESSIVE STRENGTH [N/mm <sup>2</sup> ]	Lehmbau Regeln + DIN Earth Building Rules and DIN-standards in Germany	historical building stock in G. [empirical value ZRSI]
rammed earth	2 – 4	1,5 – 2,0
cob technique	1	0,6 – 1,3
earth-blocks load-bearing	2 – 4	1,5 – 2,5
light earth blocks	1 – 2	-
earth mortar for plaster	≥ 1,5 S II acc. to DIN 18947 : ≥ 1,5	0,5 – 1,5
earth mortar for masonry	1 – 4	1 - 2

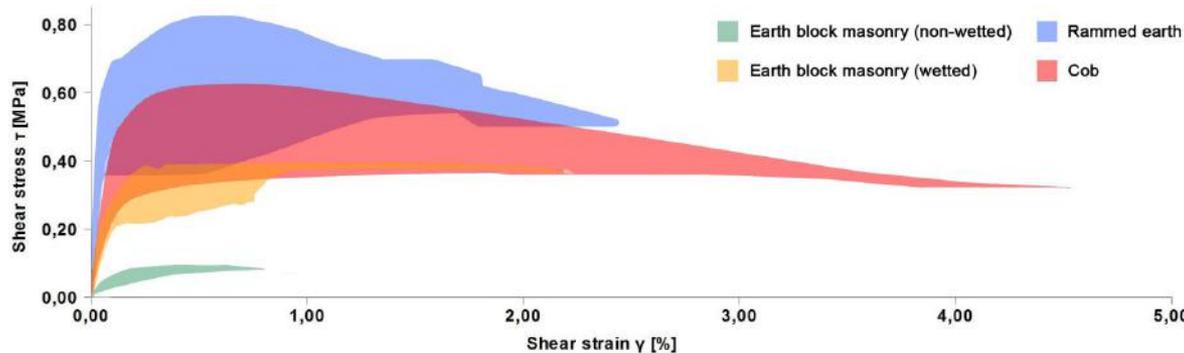
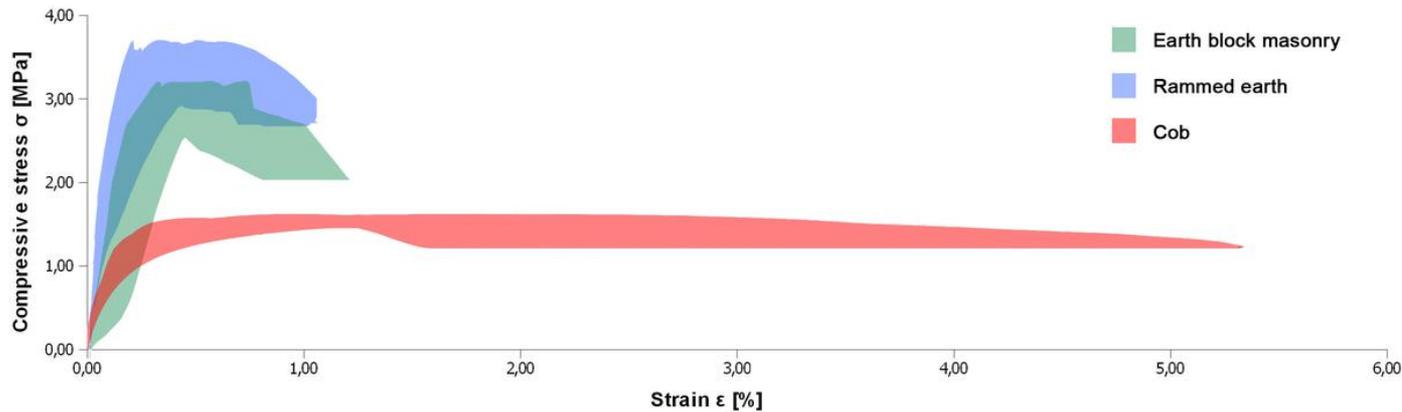


photos: ZRS

## Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?

Ja, es bestehen deutliche Unterschiede!

Das ausgeprägt plastische Materialverhalten von Wellerlehm wirkt energiedissipativ und erhöht damit die Erdbebenresilienz deutlich.



Fotos und Grafiken: BAM





## Verantwortliche Positionierung über Diskussion zu folgenden Fragestellungen

- Sind Lehmbauten besonders erdbebengefährdet?
- Gibt es Unterschiede in der Erdbebenresilienz der verschiedenen Lehmbauweisen?
- Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wiederhergestellt werden?
- Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?
- Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

## Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wieder hergestellt werden?

Erkennen → Notsichern → Sichern → Sanierungsmaßnahmen → Rückbau der Sicherungsmaßnahmen



Al Damarki House, Al Ain, UAE. 2010/11. Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## MAUERAUSTAUSCHVERFAHREN

Rehabilitation Al Jahili Fort  
Al Ain, UAE



Bei sehr dicken Wänden zusätzlicher Arbeitsschritt des jeweils hälftigen Arbeitens über die Dicke des Querschnittes



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wieder hergestellt werden?

Hauptproblem Risse:

- Stufenrisse im Fugenverlauf können mit fließfähigem Mörtel ausgepresst werden.
- Verlaufen die Risse durch die Lehmsteine, ist die (Schub-)Tragfähigkeit wesentlich eingeschränkt und die betroffenen Lehmsteine müssen ausgetauscht werden. Ist die Wand sehr dick, reicht der handwerklich mögliche Austausch der äußeren Läufer nicht aus, um die volle Schubtragfähigkeit wieder herzustellen. Dann müssen zusätzlich Vernadelungen hergestellt werden.



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

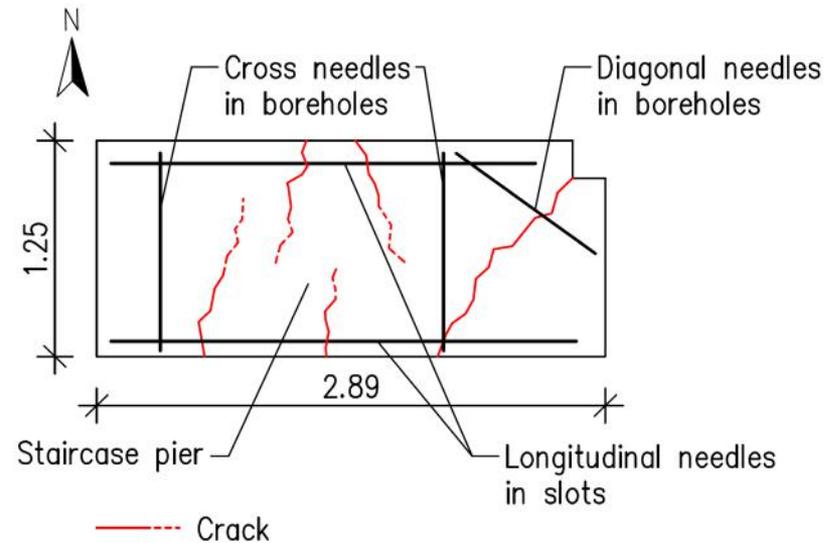
## Example: MURABB'A FORT TOWER

Apart from the stabilization of the north wall, it was urgently necessary to strengthen the staircase column in order to prevent a collapse. The following options were considered:

- Dismantling and rebuilding the pillar or,
- anchoring or
- Strengthening by means of wrapping or,
- Strengthening by means of needling.



Schematic sketch of needling in the staircase pier  
Plan view

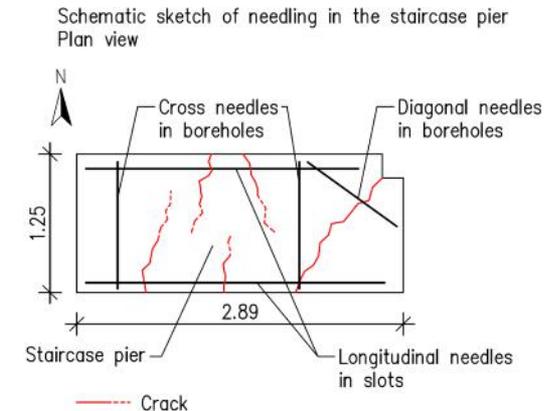


Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure, Sara Paganoni, Christof Ziegert

## Example: MURABB'A FORT TOWER

Needling was executed with fiber glass bars needles of the type Schöck Combar, with a diameter of 8 mm. The needles have a ribbed surface similar to rebar. Compared to reinforcing steel or stainless steel, these needles have the advantage of being more flexible and therefore better adapted to the earthen block masonry.

The mortar used to coat the needles had to bridge between the high strength of the needle and the low strength of the earth block masonry, therefore low hydraulic lime mortar was used for this purpose. As hydraulic lime could not be procured locally, a mortar was prepared that can be described as a lime mortar with low cement content. The strength was thus similar. The mortar was moistened during the two following weeks to allow a humid cure.

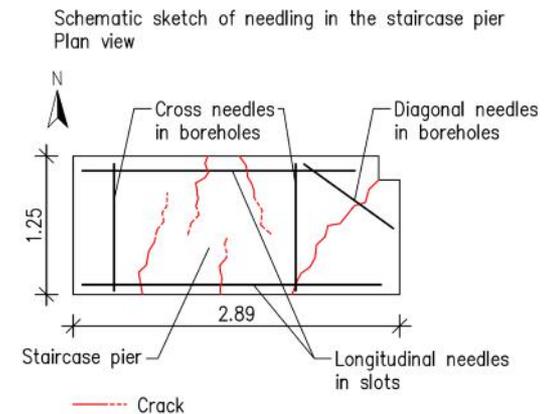


Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure, Sara Paganoni, Christof Ziegert

## Example: MURABB'A FORT TOWER

For needles to be laid transversely and diagonally, access channels were drilled out. The mortar prepared in a liquid state was filled in this access channels to flow in by gravity, prior to the insertion of the needles.

The intervention was successful. Regular monitoring has shown that up to now, i.e. 1.5 years after the measure, the cracks have not re-opened and no new cracks have appeared



Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure, Sara Paganoni, Christof Ziegert

## Example: MURABB'A FORT TOWER

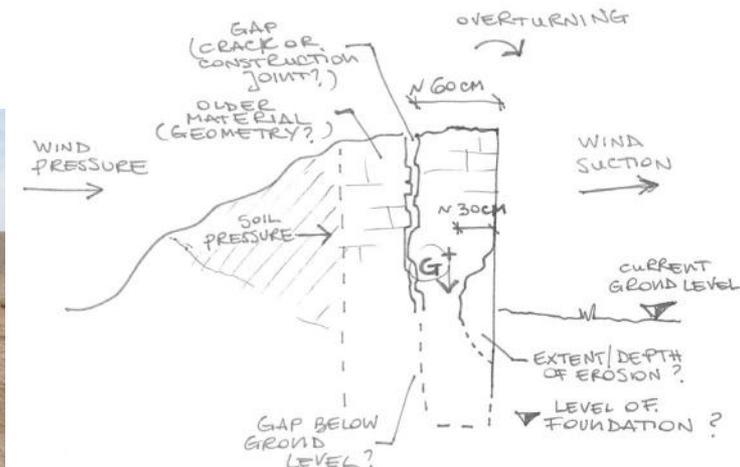
Meanwhile the north façade is reconnected to the outer and inner cross walls by needling also.



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

## Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wieder hergestellt werden?

Erkennen → Notsichern → Sichern → Sanierungsmaßnahmen → Rückbau der Sicherungsmaßnahmen



Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure, Sara Paganoni, Christof Ziegert



2022-1



CITY WALL 1 © ZRSI

2022-2

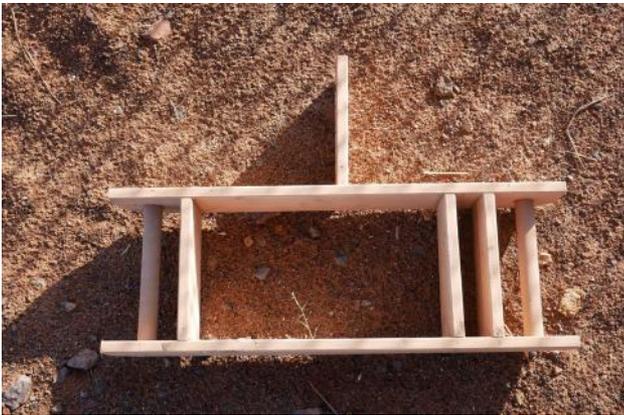
## Emergency and medium-term measurement



Federal Foreign Office



Fotos: ZRS Ingenieure, Sara Paganoni, Michelle Härder, Christof Ziegert



CONSERVATION MATERIAL © ZRSI

2023-1

## Production of conservation material



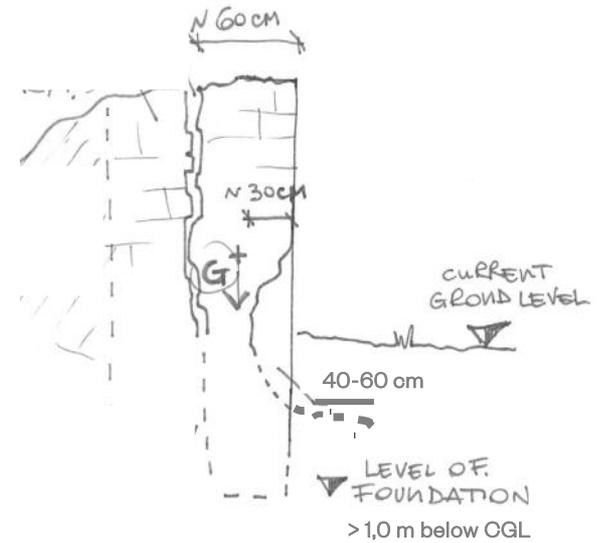
Fotos: ZRS Ingenieure, Michelle Härder



TEST TRENCH 1



TEST TRENCH 2



CITY WALL 1 © ZRSI

## Test trenches and new information about foundation



CITY WALL 1 © ZRSI

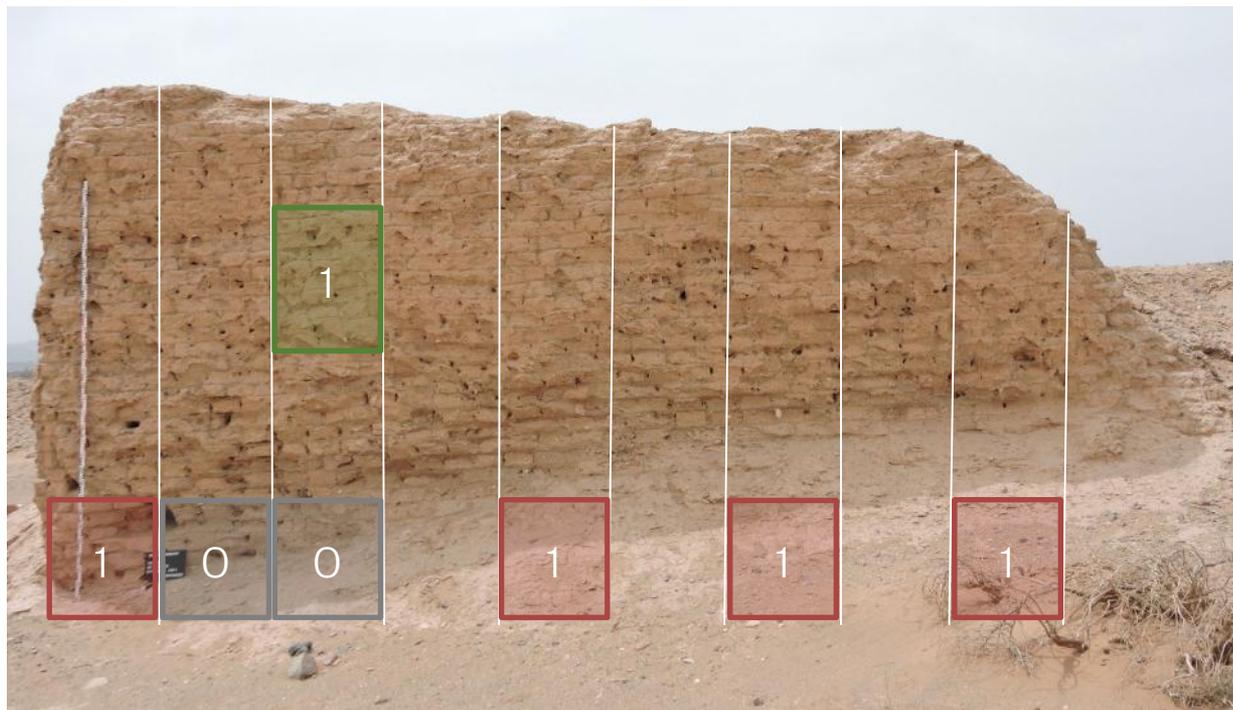
## Exposing masonry & masonry work



Fotos: ZRS Ingenieure, Michelle Härder



Fotos: ZRS Ingenieure, Michelle Härder, Christof Ziegert



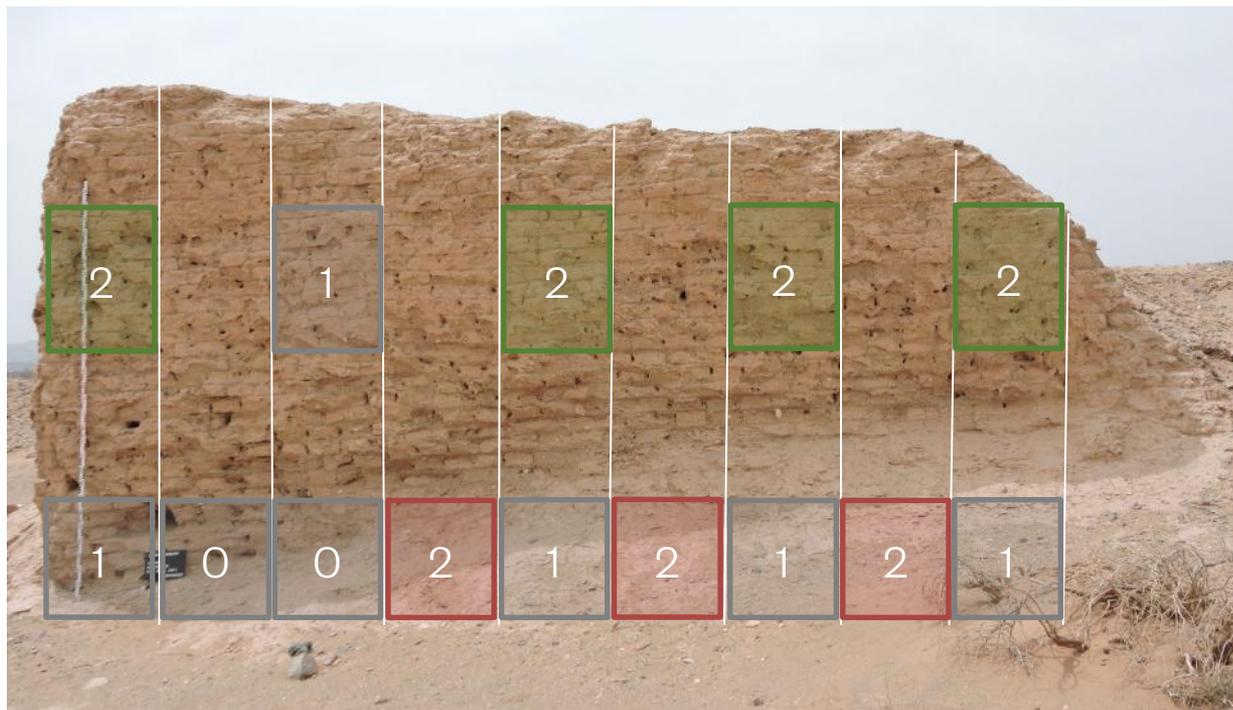
-  COMPLETED
-  ANCHORING
-  MASONRY WORK

CITY WALL 1 © ZRS

2023-2



Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure, Michelle Härder



- COMPLETED
- ANCHORING
- MASONRY WORK

CITY WALL 1 © ZRS

2023-2



Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure, Michelle Härder



Fotos: ZRS Ingenieure, Michelle Härder, Christof Ziegert

## Wie kann die Standsicherheit bestehender geschädigter Lehmbauten wieder hergestellt werden?

Erkennen → Notsichern → Sichern → Sanierungsmaßnahmen → Rückbau der Sicherungsmaßnahmen



Fotos: ZRS Ingenieure, Michelle Härder

## Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?

Die Maßnahmen müssen auf jedes Gebäude, dessen Materialien und dessen Nutzung abgestimmt werden.

Häufig läuft es auf folgende Maßnahmen hinaus:

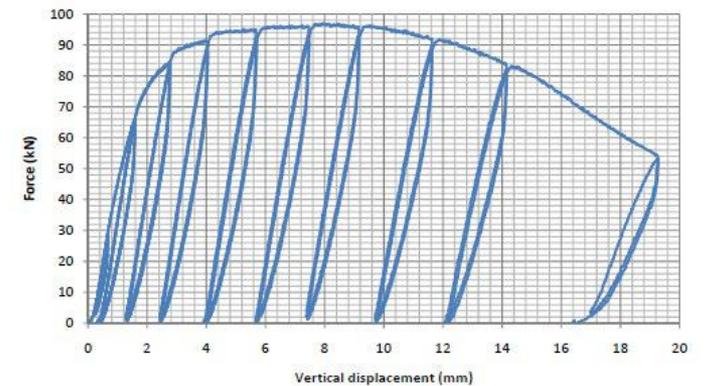
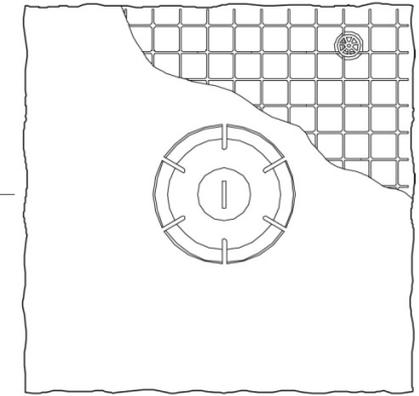
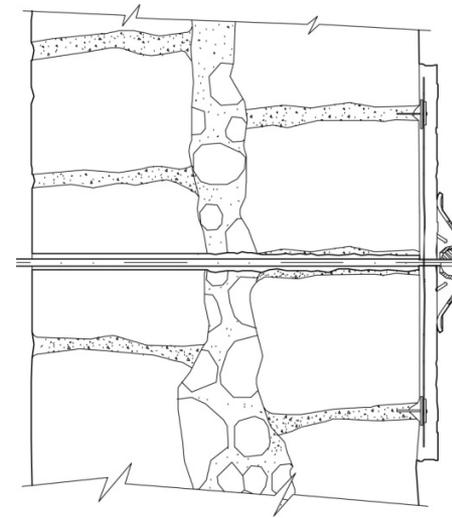
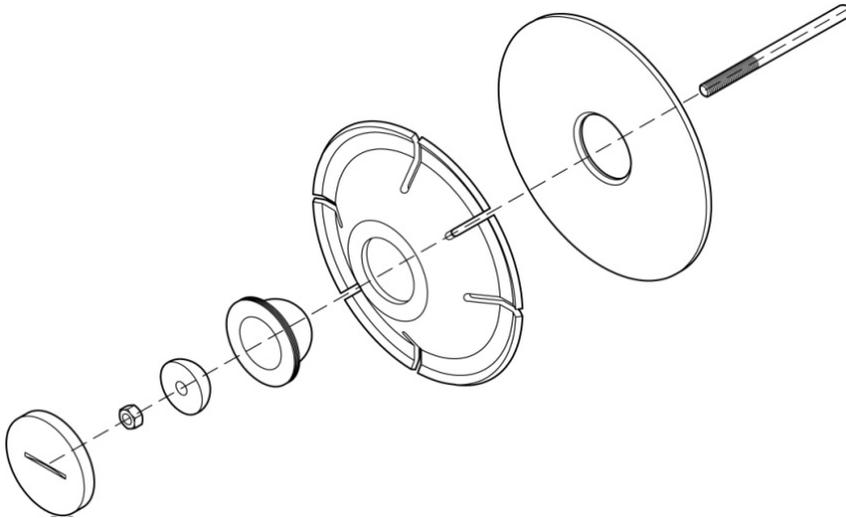
Sanierung Fußpunkt / Ausbildung von Deckenscheiben / Anker / Ringbalken / Wrapping



Fotos: ZRS Ingenieure, Christof Ziegert

# Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?

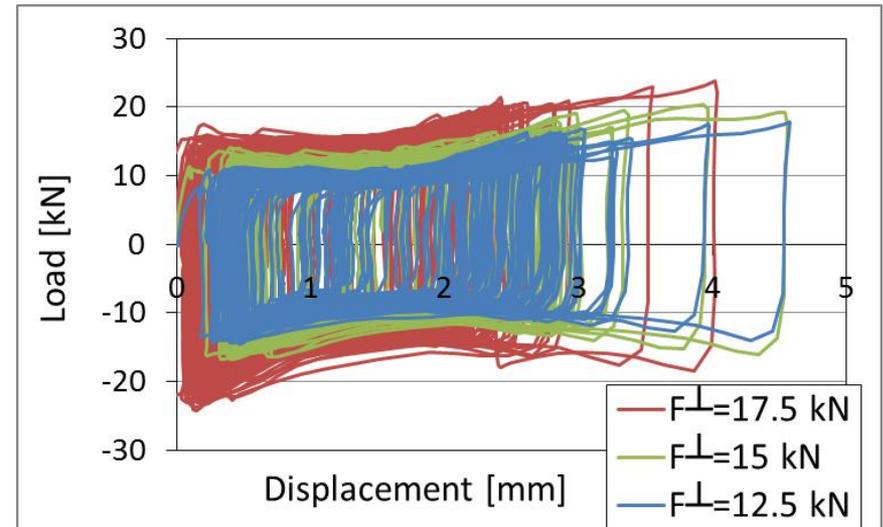
## Energiedissipative Ankersysteme



Fotos und Skizzen: ZRS Ingenieure

# Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?

## Energiedissipative Ankersysteme



Fotos und Grafik: ZRS Ingenieure

## Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?

Integration von Ringbalken, Old Palace Doha



Fotos: ZRS

## Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?

Die Maßnahmen müssen auf jedes Gebäude, dessen Materialien und dessen Nutzung abgestimmt werden.

Häufig läuft es auf folgende Maßnahmen hinaus:

Sanierung Fußpunkt / Ausbildung von Deckenscheiben / Anker / **Wrapping**



Fotos: ZRS

## Wie kann die Erdbebenresilienz bestehender Lehmbauten verbessert werden?

Die Maßnahmen müssen auf jedes Gebäude, dessen Materialien und dessen Nutzung abgestimmt werden.

Häufig läuft es auf folgende Maßnahmen hinaus:

Sanierung Fußpunkt / Ausbildung von Deckenscheiben / Anker / **Wrapping**



## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Was sagen die deutschen Regelwerke?

Wellerlehmbau und Stampflehmbau kann in Deutschland nach den „Lehmbau Regeln“ des Dachverbandes Lehm e.V. (bauaufsichtlich eingeführt in allen Bundesländern) bis einschließlich Gebäudeklasse 2 tragend eingesetzt und nach diesen bemessen werden. Zum Thema Erdbeben schweigen sich die Lehmbau Regeln aus. Folglich ist die Verwendung ab Erdbebenzone 1 nicht im Regelverfahren möglich.

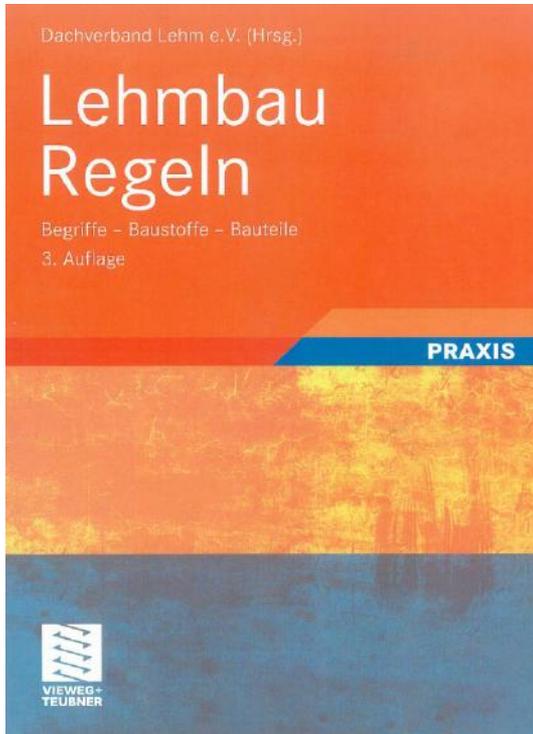
Für Lehmsteinmauerwerk steht seit Juni 2023 die DIN 18940 Tragendes Lehmsteinmauerwerk zur Verfügung. Diese läßt die Verwendung und Bemessung von Lehmsteinmauerwerk bis einschließlich Gebäudeklasse 4 zu (weltweit einzigartig!). Für Gebäude in den Erdbebenzonen 0 und 1 muss kein gesonderter Erdbebennachweis geführt werden. Für Gebäude in der Erdbebenzone 2 und höher muss ein gesonderter Nachweis geführt werden, der in der Regel mit einer Vorhabenbezogenen Bauartgenehmigung (früher Zustimmung im Einzelfall ZiE) verbunden ist).

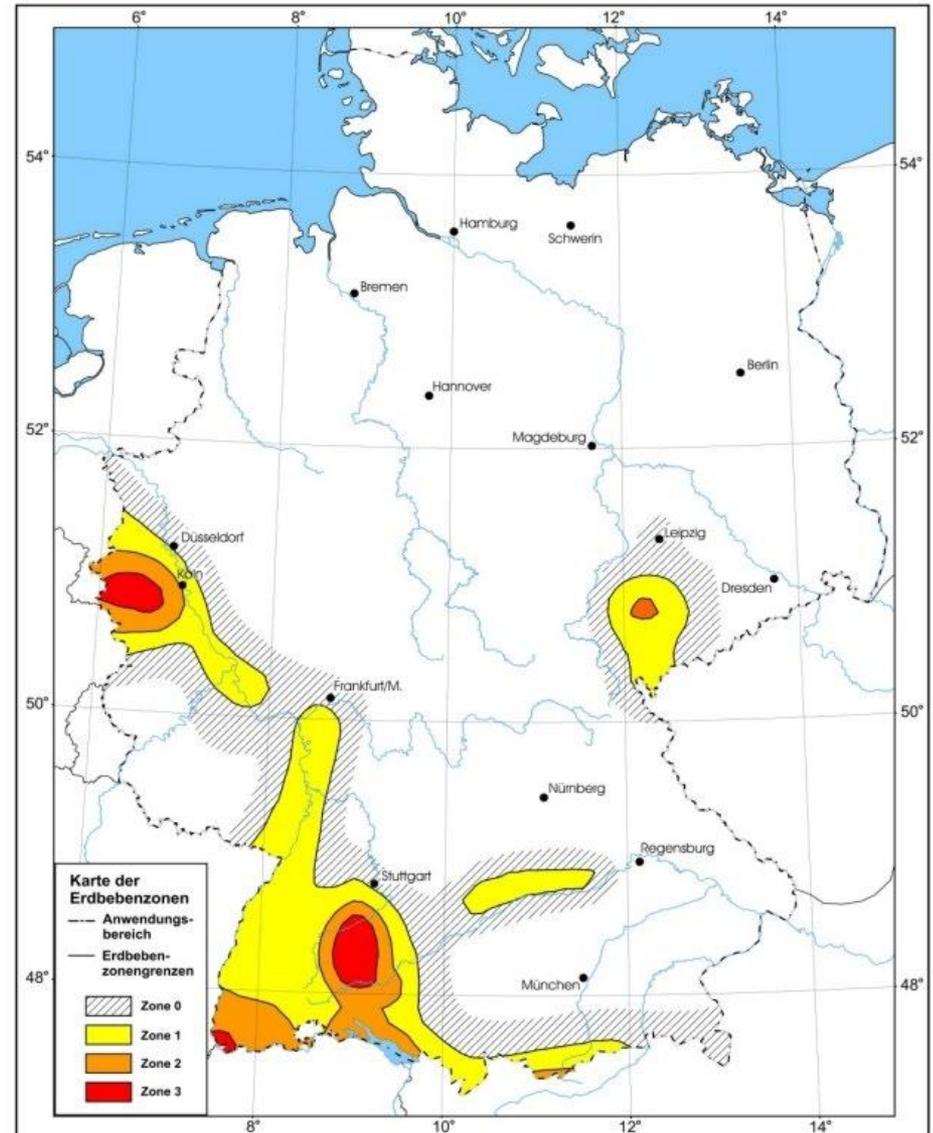
Gebäudeklassen   Building classes				
1	2	3	4	5
a) freistehende Gebäude <math>\le 7\text{ m}</math> OKF mit <math>\le 2</math> Nutzungseinheiten von insgesamt <math>\le 400\text{ m}^2</math> b) freistehende land- oder forstwirtschaftliche Gebäude	Gebäude <math>\le 7\text{ m}</math> OKF, mit <math>\le 2</math> Nutzungseinheiten von insgesamt <math>\le 400\text{ m}^2</math> Building <math>\le 7\text{ m}</math> upper edge of foundation, with <math>\le 2</math> units designated for a specific use of a total.	Sonstige Gebäude <math>\le 7\text{ m}</math> OKF Other buildings <math>\le 7\text{ m}</math> upper edge of foundation	Gebäude <math>\le 13\text{ m}</math> OKF mit Nutzungseinheiten von insgesamt <math>\le 400\text{ m}^2</math> Building <math>\le 13\text{ m}</math> upper edge of foundation, with units designated for a specific use of a total of	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude Other buildings, including buildings below ground

Skizze: Bauordnung NRW



Lehmbau Regeln  
Technische Merkblätter  
DIN-Normen





Karte: GFZ /DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (vormals DIN 4149:2005-04)

## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Holz- oder Bambustragwerke (mit ausreichender Horizontalaussteifung) mit Lehmausfachungen sind positiv zu bewerten (Einschränkung: Verfügbarkeit, Klimazone, Termiten)



Fotos: ZRS

## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Hybride Tragwerke sind aufgrund Ihres unterschiedlichen dynamischen Verhaltens of kontraproduktiv  
(Bürogebäude ERNE-Holzbau Schweiz, Erdbebenmodellierung ZRS Ingenieure)



Fotos: ERNE Holzbau



## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

### Ganz wichtig:

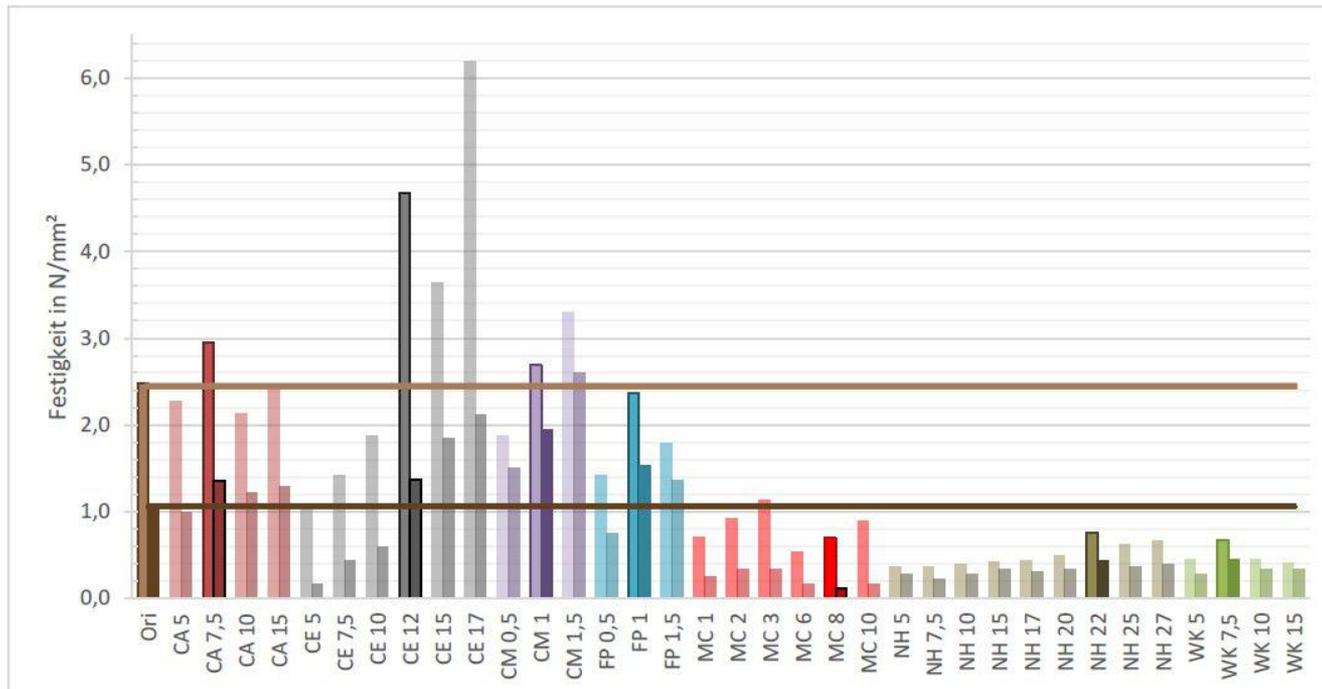
#### Beachtung geometrischer Grundsätze:

- Rechteckige, möglichst doppelsymmetrische Grundrisse
- Ausreichende Anzahl aussteifender Längs- und Querwände im nicht zu großen Abstand
- Wände übereinander anordnen
- Öffnungen nicht zu nah an den Ecken und Enden
- Nicht zu schlanke Wände
- Geschossigkeit je nach Erdbebenzone und Bauweise

## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Ist die Stabilisierung von Lehmbaustoffen eine Möglichkeit, die Erdbebenresilienz zu erhöhen?

Stabilisierung von Lehmbaustoffen mit chemisch wirksamen, nicht reversiblen Bindemitteln ist nach den deutschen Regelwerken zum Lehm bau nicht zulässig!



M.-% stabilizers vs.  
Compressive and tensile  
bending strenght.  
(Schlacht, P., 2021)

- CA gypsum
- CE cement
- CM Methylcellulose
- FP starch
- MC Polymerdispersion
- NH Nat. Hydraulic Lime
- WK Hydrated Lime

## Meti-School, Rudrapur/Bangladesch Bautechnik / Schubknaggen für Ringanker/Ringbalken



Fotos: ZRS

Ringanker + Deckenscheibe  
oder  
Ringbalken + Balkendecke ohne Scheibenwirkung



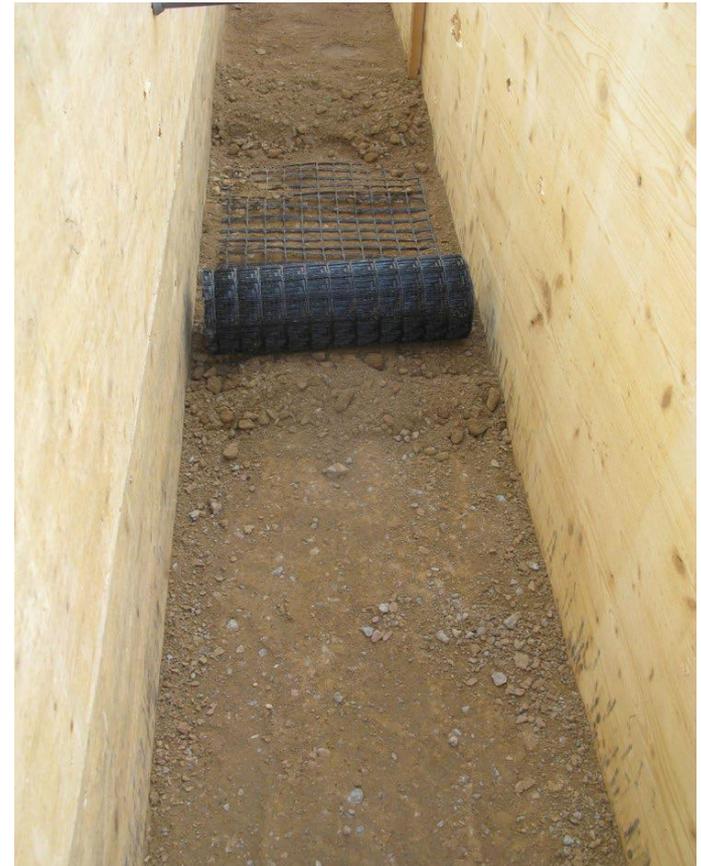
Foto: ZRS

## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Bewehrung mit Geogittern im Lehmsteinbau und Lehmstampfbau als horizontale Einlagen und ggf. auch als wrapping.



Fotos: ZRS, Christof Ziegert



## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Bewehrung mit Geogittern im Lehmsteinbau und Lehmstampfbau als horizontale Einlagen und ggf. auch als wrapping.



Foto: Esperanza

## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Bewehrung mit Geotitern im Lehmsteinbau und Lehmstampfbau als horizontale Einlagen und ggf. auch als wrapping.



Fotos: Esperanza

## Wie kann eine hohe Erdbebenresilienz bei neuen Lehmbauten erreicht werden. Welche Grenzen gibt es dabei?

Bewehrung mit Geogittern im Lehmsteinbau und Lehmstampfbau als horizontale Einlagen und ggf. auch als wrapping.



Fotos: Esperanza



## Weiterführende Empfehlungen (Auswahl)

Fachkraft Lehmbau DVL (4 Wochen Theorie + Praxis je 50%)

<https://www.dachverband-lehm.de/bildung/fachkraft-lehmbau>

Getty Conservation Institut and DCT Abu Dhabi:

International Course on the Conservation of Earthen Architecture (4 weeks)

[https://www.getty.edu/conservation/our\\_projects/field\\_projects/earthen\\_arch\\_course/](https://www.getty.edu/conservation/our_projects/field_projects/earthen_arch_course/)

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble(ENSAG):

Post master DSA "Earthen architecture, building cultures and sustainable development" (2 years)

<http://craterre.org/enseignement:dsa-architecture-de-terre/>

Base habitat Masters z.B. an der Kunstuniversität Linz <https://www.basehabitat.org/study/master/>

 Dachverband Lehm e.V.: Bundesverband zur Förderung des Lehmbaus in Deutschland

Fachkraft Lehmbau DVL: 4 wöchige Weiterbildung des DVL + Handwerkskammer

- Zugangsvoraussetzung: Geselle im Bauhauptgewerk oder 5 Jahre Baustellenpraxis oder Architekt / Ingenieur
- Berechtig zur Gewerbeanmeldung im Bauhauptgewerk als Lehmbaufachbetrieb
- fast 600 Absolventen (Stand Anfang 2024)
- Kursstandorte: Biberach, Koblenz, Gernewitz, Verden, Glücksburg)
- Regelmäßig auch Teilnehmer aus Österreich und der Schweiz
- Jährliche Absolvententreffen zur kostenfreien Weiterbildung und zum Erfahrungsaustausch



Weiterführende Planungsinformationen in:

Beuth Praxisreihe

## Lehmbau-Praxis

Planung und Ausführung

von Dipl.-Ing. Ulrich Röhlen, Prof. Dr.-Ing. Christof Ziegert

3., überarbeitete und erweiterte Auflage 2020

384 S. mit Abbildungen und Tabellen.

24 x 17 cm. Broschiert.

48,00 EUR | ISBN 978-3-410-29122-0

