

Der UTS Dauerhaftigkeits-Test für Lehm-Wand-Konstruktionen

Die Verwendung von Lehm als Baumaterial geht bis auf die Ubaid-Periode im altertümlichen Mesopotamien (5000-4000 v. Chr.). Lehmsteine oder Adobe, wie sie auch genannt werden, wurden durch Mischen einer plastischen Masse von Lehmmaterial mit Faserstoff wie Stroh hergestellt. Mit einer Regenfallrate niedriger als 200mm pro Jahr und wenig Steinvorkommen, war der Lehmstein die natürliche Wahl als Baumaterial und wird heute noch immer umfangreich in der Region genutzt. Erdhügel die durch Ansammlung erodierter Lehmbauten geformt wurden sind heute noch sichtbar, wenngleich nicht viel mehr übriggeblieben ist.

Es gibt einige komplette Lehmsteinbauwerke, die die Wirren der Zeit durch regelmäßige Pflege überlebt haben. Vielleicht die ältesten existierenden ungeschützten Lehmbauten sind die der Pueblos in Taos in New Mexico, deren Alter von über 900 Jahren nachgewiesen ist. Hier führte die Kombination von trockenem Klima und regelmäßiger Pflege zum Überleben dieser dreistöckigen Gebäude. Lehmbau war eine etablierte Bauform in vielen Teilen der Welt im 19. Jahrhundert, wobei die meisten Gebäude zum Wetterschutz verputzt waren.

In Australien begann Gouverneur Philip eine neue Besiedelung in Parramatta und vor dem Ende von 1790 waren dort 32 Häuser fertig, erbaut aus Flechtwerk, verputzt mit Lehm und strohgedeckt (Archer, J., 1987). Termiten, Regen und ansteigende Privatwirtschaft führte zur Zerstörung der frühen Lehmwandgebäude in Sydney. Die frühesten erhaltenen Lehmgebäude sind aus der Mitte des 19. Jahrhunderts und liegen in der ländlichen Region weit ab der Stadt. Es sollte bemerkt werden, dass diese erhalten gebliebenen Gebäude gut gepflegte Oberflächenschichten und weite Dachüberstände haben (Bild 1).

Dauerhaftigkeit und Klima

Mit dem Aufkommen der industriellen Revolution ging die Lehmwandbauweise zwischen der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts nieder, wenngleich der Mangel an Baumaterial nach dem zweiten Weltkrieg zu einem neuerlichen Interesse an Lehmwandkonstruktionen führte. Das bevorzugte Wandbaumaterial in Australien ist der gebrannte Lehmziegel ohne Außenputz und die gleiche Erscheinung wird in Lehmwandkonstruktionen bevorzugt (Bild 2).

Obwohl Australien ein sehr trockener Kontinent ist, lebt die Mehrzahl der Bevölkerung in Orten in der Küstenregion mit jährlichem Regenfall zwischen 600mm und 1800mm pro Jahr (Bild 3). Die traditionellen Gebiete des Lehmbaus, wie Ägypten und Nordafrika haben jährliche mittlere Niederschläge zwischen 200mm und 500mm pro Jahr. Die Erosion von Lehmwänden durch stürmischen Regen in Verbindung mit der Vorliebe für unverputzte Oberflächen führte zu den Studien über die Dauerhaftigkeit von Lehmwänden in der Australischen Umwelt.

Die Mehrheit der Wohnorte liegt in den Gebieten von 600mm bis 1800mm jährlicher Regenfälle.

Durch ihre begrenzte Haltbarkeit in einem unstabiliertem Stadium wurden die Lehmbauten in der Vergangenheit als untergeordnet zu dauerhafteren Materialien wie Stein und gebrannten Lehmsteine gesehen.

„Wir bemerken ebenso, dass in dem vereinigten Königreich und Frankreich Lehm auf kleine Häuser und Farmgebäude begrenzt ist. In den alten Dörfern sind das Gemeindehaus und das Herrenhaus sowie alle Gebäude mit einer bestimmten architektonischen Bedeutung entweder aus Ziegel oder Stein gebaut. Daher sollten wir das Fazit ziehen, dass unstabilierte Lehmwände keine ausreichende Beständigkeit besitzt, um die Verschwendung einer großen Menge an Anstrengung und Beschäftigung mit Anschlüssen und dekorativer Arbeit zu rechtfertigen“ (Fitzmaurice, 1958, S. 5)

Der empfundene Mangel an Haltbarkeit von Lehm war eine bedeutende Barriere zu seiner Akzeptanz als modernes Baumaterial. Die Mehrzahl der Lehmbauten, die über einen längeren Zeitraum überlebt haben, liegt vorrangig in den Gebieten mit minimalem jährlichem Niederschlag, ist mit großen überhängenden Dachgesimsen geschützt oder mit schützenden Schichten versehen.

Um eine effektive Voraussage des Lebenszyklus' von Lehmbauten zu treffen, ist es notwendig, einen zeitbeschleunigten Dauerhaftigkeitstest, welcher ein zuverlässiger Vergleich zum Nutzungsverhalten ist, durchzuführen. Middleton (1952) errichtete 1949 viele Stampflehm-Testwände auf der Commonwealth-Experimental-Bau-Station in Sydney. Was diese Experimente zeigen, nach 43 Jahren der Beobachtung, war der dramatische Effekt,

The UTS Durability Test for Earth Wall Construction

The use of earth as a building material dates back to at least the Ubaid period in ancient Mesopotamia (5000-4000 BC). Mud bricks or Adobes as they are sometimes called, were made by mixing a plastic mixture of clayish material with a binding agent such as straw. With a rainfall rate less than about 200mm per year and little stone, mud brick was the natural choice of building material and it is still used extensively in the region today. Mounds formed by the accumulation of eroded earth buildings are visible today but little else remains.

There are few complete mud brick structures that have survived the ravages of time through regular maintenance. Perhaps the oldest existing unprotected earth structure is the Pueblo at Taos, in New Mexico, which is reportedly over 900 years old. Here the combination of a dry climate with regular maintenance has led to the survival of this three-storey building. Earth building was an established form of construction in many parts of the world in the 19th Century, with most of the buildings rendered for weather protection.

In Australia Governor Philip began a new settlement at Parramatta and before the end of 1790 there were thirty-two houses completed, built of wattles, plastered with clay and thatched (Archer, J, 1987), Termites, rain and increasing property development led to the destruction of all early earth wall buildings in Sydney. The earliest remaining earth buildings are from the mid nineteenth century and are all located in rural areas far from the city. It should be noted that these remaining buildings have well maintained surface coatings as well as wide roof overhangs (Fig. 1)

Durability and Climate

With the advent of the industrial revolution earth wall construction declined during the mid nineteenth to mid twentieth century, however shortages of building materials following the Second World War led to a renewed interest in earth wall construction. The preferred wall construction material in Australia is fired clay brick without an external coating and this same appearance is preferred in earth wall construction (Fig. 2).

Although Australia is a very dry continent the majority of the population live in dwellings in the coastal regions with annual rainfall averaging between 600mm and 1800mm per year

(Fig. 3). The traditional areas of earth building such as Egypt and North Africa have annual rainfalls averaging between 200mm and 500mm per year. The erosion of earth walls by wind driven rain coupled with the preference for uncoated surfaces has led to studies on the durability of earth walls in the Australian environment.

Due to their limited durability in an unstabilised state earth buildings have in the past been seen to be inferior to more permanent materials such as stones and fired clay bricks.

“We note also that in the United Kingdom and France that earth walling is limited to the smaller domestic and farm buildings. In the old villages the parish church and the manor house, and any buildings having more considerable architectural pretensions, were invariably built of brick or stone. Thus we may take as a tacit admission that unstabilised earth walling did not possess sufficient permanence to justify the expenditure of a large amount of effort and elaboration in fittings and decorative work.” (Fitzmaurice, 1958, p5)

The perceived lack of durability of earth has been a significant barrier to its acceptance as a modern building material. Major earth buildings that have survived over long periods are mainly located in areas of minimal annual rainfall, are protected by overhanging eaves, or are covered with protective coatings.

For effective prediction of the service life of earth buildings it is necessary to have an accelerated durability test which is a reliable predictor of in-service performance. Middleton (1952) constructed many rammed earth test walls at the Commonwealth Experimental Building Station in Sydney in 1949. What these experiments demonstrated, after 43 years of exposure, was the dramatic effect climatic conditions have on the durability of earth walls (Fig. 4).

Bulletin 5 Erosion Test

In response to an increased interest in earth construction in the 1970's the Commonwealth Experimental Building Station in Australia developed an accelerated erosion test based on spraying water horizontally onto specimens using a specific nozzle (Schneider, 1981). This test is referred to as the “Bulletin 5” accelerated erosion test (Figs. 5 & 6), as that is the name of the document in which it is contained.



den die klimatischen Bedingungen auf die Dauerhaftigkeit von Lehmwänden haben (Bild 4).

Bulletin 5 Erosions-Test

In Folge des wachsenden Interesses an Lehmbauten in den 1970er Jahren entwickelte die Commonwealth-Experimental-Bau-Station in Australien einen zeitbeschleunigten Erosions-Test, der darauf basiert, Wasser horizontal auf Proben unter Nutzung einer speziellen Düse (Schneider, 1981) zu sprühen. Dieser Test ist auch bekannt als der „Bulletin 5-Beschleunigter Erosions-Test“ (Bild 5 & 6), da dies der Name des Dokumentes ist, das ihn beinhaltet.

Der Test ist benannt im Baucode von Australien und in einer modifizierten Version im Neuseeland-Praxiscode zu Lehmwandbauten (NZS 4297, 1998).

Der Test besteht darin, die Oberfläche eines Probestückes eine Stunde bzw. bis zur Penetration des Probekörpers zu besprühen. Der Test wird in 15-minütigen Intervallen unterbrochen und die Tiefe der Erosion mit einem 10 mm starkem flachendem Stab gemessen. Die totale Tiefe nach einer Stunde wird durch 60 geteilt, um die Erosion in mm pro Minute zu erhalten. Die maximale zulässige Erosionsrate für alle Arten von Lehmkonstruktionen ist 1 mm pro Minute.

Die Entwicklung des UTS Dauerhaftigkeitstest

Zwei generelle Schwierigkeiten bei der Anwendung des Bulletin 5 –Tests zur Vorhersage des Verhaltens von Lehmwänden sind für die Autoren offensichtlich. Die erste ist, dass der Test nicht in jeder Form Regen simulieren kann und, wie in Bild 7 zu sehen, Löcher in die Probekörper bohrt. Zum Zweiten gibt die Interpretation der Ergebnisse des Tests den klimatischen Bedingungen, in denen das betreffende Haus stehen wird, keine Beachtung.

Die Autoren untersuchten viele verschiedene Düsen, um den grundlegenden Bulletin 5-Test repräsentativer für die turbulente Erosion die durch Regen erfolgt zu machen.

Am Ende der Hochdruckserien von Düsen (hergestellt von Spraying Systems Company in Illinois) wurde es als ideal gefunden, dass sie eine enge Spritze, die durch interne Flügel turbulent gestaltet ist (Bild 9) und relativ unaufwendig ist, produzie-



ren. Die 1550 Düse wurde ausgewählt wegen ihres Vermögens eine Sprühgeschwindigkeit von etwa 9 m/s zu produzieren, was vergleichbar zu den gemessenen Werten von Windgeschwindigkeiten bei Regen in Sydney ist.

Danach führten die Autoren Feldversuche über einen dreijährigen Zeitraum durch, um eine Beziehung zwischen der Erosion im Feld und im Labor unter Nutzung der neuen Versuchsanordnung herzustellen. Diese Tests beinhalteten die Messung des windgetriebenen Regenfalls auf der Baustelle (Bild 13) und die Korrelation der Erosion der Feldversuchskörper zu der Erosion der Laborprobekörper angepasst an das relative Volumen an Wasser, das auf die Probekörper einwirkt (Heathcote, 2003).

Eine Testprozedur wurde entwickelt, wobei ein Probekörper im Labor getestet wurde und dann im Feldversuch. Der Feldversuch wurde in einer Wetterstation gemacht, wo Wind- und Regenfalldaten verfügbar waren. Durch frühere Untersuchungen war bekannt, dass windgetriebener Regen vornehmlich aus dem Süden kommt und daher wurden die Probekörper in Nord/Süd-Richtung orientiert, um den maximalen Angriff zu bieten. Um eine Wandkonstruktion zu simulieren, wurden die Ränder mit einer PVC-Röhre (Bild 14) vor dem Wetter geschützt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung ermöglichte es den Autoren, eine Beziehung herzustellen zwischen den jährlichen Regenfällen an bestimmten Orten und der benötigten Sprühzeit für eine 1 zu 1 Beziehung zwischen der Erosionstiefe im Feld und der Erosionstiefe im Labor, vorausgesetzt eine mittlere Windgeschwindigkeit bei Regen um 7 m/s und eine Nutzungsdauer von 50 Jahren.

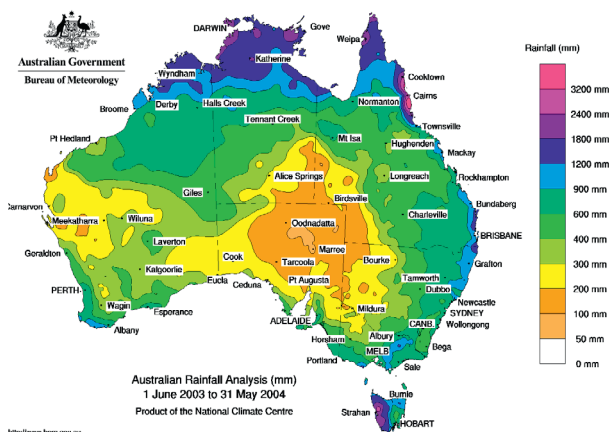
Basierend auf etablierten Beziehungen zwischen Erosion und Wassergeschwindigkeit wurden Korrekturfaktoren eingeführt, für Situationen, in denen die mittlere Windgeschwindigkeit bei Regen höher oder niedriger als 7 m/s war. Details dieser Arbeit werden jetzt veröffentlicht, basieren aber auf der Arbeit von Heathcote (2003).

Der UTS Dauerhaftigkeits-Test

Details des UTS Dauerhaftigkeits-Test werden in Bild 10 angegeben. Bei dem Test werden die Probekörper mit ihrer äußeren Seite auf den Strahl ausgerichtet, welcher auf die Probekörper

1 Pisé Haus bei Bathurst 1850 (beachten Sie den weiten Dachüberstand und die verputzten Wände)
Pisé house near Bathurst 1850 (note the wide roof overhang and rendered walls)

2 Moderne Australische Lehmwandkonstruktion
Modern Australian Earth Wall House



This test is called up in the Building Code of Australia and a modified version was included in the New Zealand Code of Practice on earth wall buildings (NZS 4297,1998).

The test consists of spraying the face of a sample for a period of one hour or until the sample is penetrated. The test is interrupted at fifteen-minute intervals and the depth of erosion measured with a 10mm diameter flat-ended rod. The total depth after one hour is divided by sixty to give erosion in mm per minute. The maximum permissible erosion rate for all types of earth construction is 1mm per minute.

Development of UTS Durability Test

Two general difficulties in using the Bulletin 5 test to predict earth wall performance became obvious to the authors. The first is that the test does not in any way simulate rainfall and as can be seen in Fig. 7 actually bores holes in the specimens. Secondly in interpreting the results of the test no consideration is given to the climatic conditions in which a proposed building is to be located.

The authors investigated many different nozzles to make the basic Bulletin 5 spray test set-up more representative of the turbulent erosion pattern of rainfall.

In the end the Fulljet series of nozzles (manufactured by Spraying Systems Company in Illinois) were found to be ideal in that they produce a narrow spray which is made turbulent by the internal vanes (Fig. 9) and were relatively inexpensive. The 1550 nozzle was chosen for its ability to produce stream velocities of around 9 m/s, this being similar to recorded values of wind velocity during rain in Sydney.

The authors then conducted field tests over a three-year period to establish a relationship between erosion in the field and erosion in the laboratory using the new set-up. These tests involved measuring the wind driven rainfall at the site (Fig. 13) and correlating the erosion of the field specimens relative to the erosion of the laboratory specimens adjusted for the relative volumes of water impacting the specimens (Heathcote, 2003).

A testing procedure was developed where the one specimen was tested in the laboratory and then in the field. The field-test-



ing was done at a weather station where wind and rainfall data was available. From previous experience it was noted that wind driven rain predominantly came from the south and therefore the specimens were faced in a north/south orientation to receive maximum exposure. To simulate wall construction the edges were protected from the weather by a PVC tube (Fig. 14).

The results of this investigation enabled the authors to produce a relationship between the annual rainfall at a particular site and the spraying time necessary for there to be a one to one relationship between the erosion depth in the field and the erosion depth of specimens in the laboratory, assuming an average wind speed during rain of around 7 m/s, and a service life of 50 years.

Based on established relationships between erosion and water velocity correction factors were then established for situations where the average wind speed during rain was higher or lower than 7 m/s. Details of this work are yet to be published but are based on the work of Heathcote (2003).

The UTS Durability Test

Details of the UTS durability test are given in Fig. 10. In the test, specimens are placed with their external face surface exposed to the spray, which impacts the specimens through a 100mm diameter hole. A Fulljet 1550 nozzle is positioned 350mm from the face and water is sprayed at a pressure of 70kPa. The runoff water is filtered before being re-cycled (Fig. 11)

The time of exposure for the specimens is calculated as follows

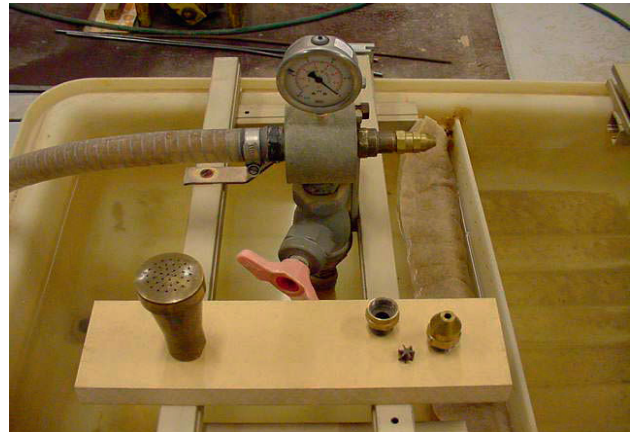
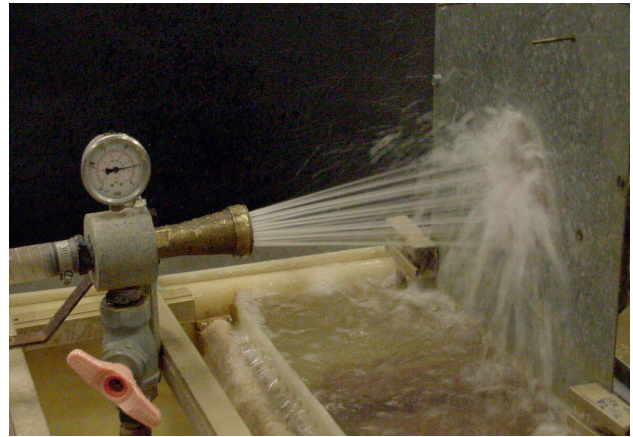
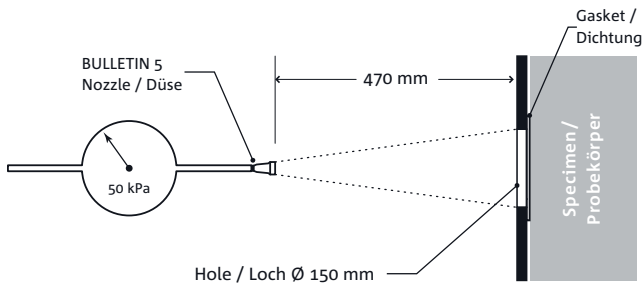
$$Time\ of\ Exposure\ (mins) = \frac{Annual\ Rainfall\ (mm)}{10} \times Wind\ Factor$$

Where Wind Factor
 = 0.5 where average wind during rain = 4 m/s
 = 1.0 where average wind during rain = 7 m/s (default)
 = 2.0 where average wind during rain = 10 m/s

For example if the mean annual rainfall in Sydney is 1200mm (Sydney) then the time of exposure is 120 minutes. For a rainfall of 600mm in a low wind area the time would be $600/10 \times 0.5 = 30$ minutes.

3 Australische Jährliche Regenfälle
 Australian Annual Rainfalls. Majority of dwellings are in the 600 to 1800 areas.

4 Lehmwände nach 43 Jahren
 Earth Walls after 43 years



durch ein 100 mm Loch einwirkt. Eine Hochdruck-1550-Düse ist 350 mm von der Oberfläche positioniert und das Wasser sprüht mit einem Druck von 70 kPa. Das ablaufende Wasser wird vor der Wiederverwendung gefiltert (Bild 11).

Die Dauer der Einwirkung auf die Probekörper wird wie folgt berechnet:

$$\text{Zeit der Einwirkung (min.)} = \frac{\text{Jährlicher Regenfall (mm)}}{10 \times \text{Windfaktor}}$$

Wobei die Windfaktoren folgende sind:

- 0,5 bei einer mittleren Windstärke bei Regen = 4 m/s
- 1,0 bei einer mittleren Windstärke bei Regen = 7 m/s (Voreinstellung)
- 2,0 bei einer mittleren Windstärke bei Regen = 10 m/s

Wenn zum Beispiel die jährliche Regenfall in Sydney 1200 mm ist, dann ist die Einwirkungsdauer 120 Minuten. Für eine Regenfall von 600 mm bei geringem Wind wäre diese Zeit $600/10 \times 0,5 = 30$ Minuten.

Die Probekörper werden dann in der errechneten Dauer besprüht und die resultierende Erosionstiefe gemessen (Bild 12).

Die Erosionstiefe ist ein Indikator für die mittlere Erosionstiefe die bei Nutzungsbedingungen zu erwarten ist, wird aber mit ei-

nem Sicherheitsfaktor von 2 multipliziert, um die Einschränkung der experimentellen Daten zu berücksichtigen. Außerdem ist es festgestellt worden, dass lokale Flächen der Erosion 50 % größer als die kalkulierte sein können. Deshalb gibt:

$$\text{voraussichtlicher mittlerer Verlust der Wandstärke über 50 Jahre} = 2 \times \text{gemessene Erosionstiefe}$$

$$\text{voraussichtlicher maximaler Verlust der Wandstärke über 50 Jahre} = 1,5 \times \text{voraussichtlicher mittlerer Verlust}$$

Wenn ein Gebäude zum Beispiel in Sydney steht und die maximale Tiefe der Erosion nach 120 Minuten 5 mm ist, dann ist der voraussichtliche mittlere Verlust der Wandstärke nach 50 Jahren 10 mm mit einigen Stellen der Erosion von 15 mm.

Zulässige Wanderosion

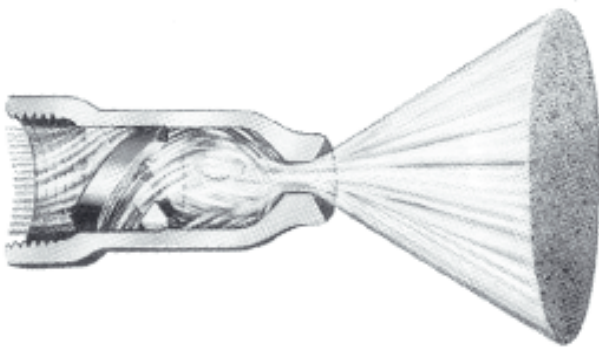
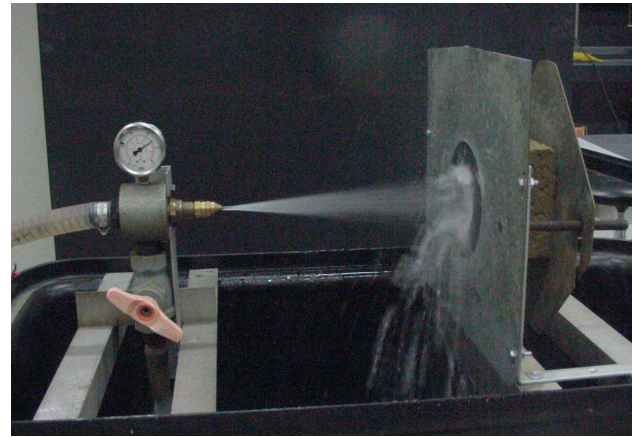
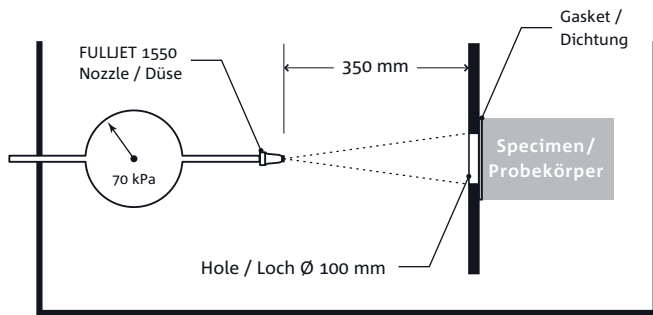
Die Erosion von Wänden stellt selten Tragfähigkeitsprobleme dar, hält man sich vor Augen, dass Lehmwände generell viel stärker als normale Mauerwerkswände sind. Für eine 250 mm dicke eingeschossige Wand wird selbst ein Verlust von 50 mm geringe strukturelle Bedeutung haben. Die Erosion ist daher eher ein Problem der Ästhetik. Man kann einen Vergleich ziehen zwischen akzeptablen Ebenen der Erosion und akzeptablen Klassen von Oberflächenabschluss im Betonbau.

Wenn wir drei Kategorien annehmen, können wir definieren:

5 & 6 Bulletin 5 – Beschleunigter Erosions-Test
Bulletin 5 Accelerated Erosion Test

7 Lehm-Block mit Erosion in Folge von Bulletin 5-Test
Earth Block showing erosion created by Bulletin 5 Test

8 Hochdruck-Voll-Kegel-Düse (links), Bulletin 5 Düse (rechts)
FullJet Full Cone Nozzle (left) Bulletin 5 Nozzle (right)



Specimens are then sprayed for the calculated duration and the resulting erosion depth measured (Fig. 12).

The erosion depth is an indication of the mean erosion depth to be expected for in service conditions but is to be multiplied by a factor of safety of 2 to take into account the limitations of the experimental data. Furthermore, it is assumed that local areas of erosion 50% greater than that calculated will occur.

Therefore:

$$\text{Predicted Average Loss of Wall Thickness Over 50 Year Period} = 2 \times \text{Measured Erosion depth}$$

$$\text{Predicted Maximum Localised Loss of Wall Thickness} = 1.5 \times \text{Predicted Average Loss}$$

For example if a building is to be located in Sydney and the maximum depth of erosion after 120 minutes is 5 mm then the predicted average wall thickness loss over 50 years would be 10 mm with localised areas of erosion reaching 15 mm.

Allowable Wall Erosion

Erosion of walls rarely poses structural problems, bearing in mind that earth walls are generally much thicker than normal masonry walls. For a 250mm thick single storey wall even a loss of 50mm will have little structural significance. Erosion there-

fore is more a problem of aesthetics, and a similarity can be drawn between acceptable levels of erosion and acceptable classes of surface finish in concrete work.

Adopting 3 categories we might define:

- Class 1 Surface – Surface where the average surface erosion over a 50-year period is not expected to exceed 4 mm with local areas of erosion of 6 mm.
- Class 2 Surface – Surface where the average surface erosion over a 50-year period is not expected to exceed 8 mm with local areas of erosion of 12 mm.
- Class 3 Surface – Surface where the average surface erosion over a 50-year period is not expected to exceed 12 mm with local areas of erosion of 18 mm.

The Client would then specify the required surface finish and that would form the basis of the acceptance testing of materials in accordance with the UTS test outlined above.

Conclusions

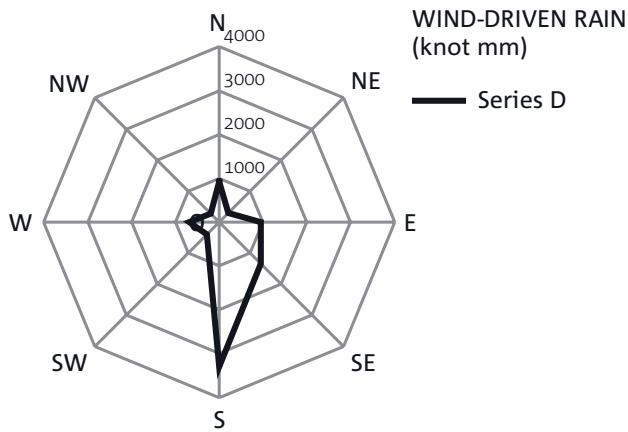
Little work has been done to date in developing a laboratory test which would be a reliable predictor of the in-service erosion of earth wall buildings. The UTS Durability test given in this paper has been developed as a result of extensive field and laboratory testing and provides a logical basis for acceptance testing of earth building materials used in a particular climatic region.

9 Die Hochdruck-Voll-Kegel-Düse der UTS Test erzeugt eine enge Spritze, die durch interne Flügel turbulent gestaltet ist.

The Fulljet nozzles used in the UTS tests produce a narrow spray which is made turbulent by the internal vanes

10 & 11 UTS Dauerhaftigkeits-Test / UTS Durability Test

12 Messung der Maximalen Tiefe der Erosion mit einem 10mm Skalierstab, UTS-Test
Measuring Maximum Depth of Erosion with 10mm Graduated Rod - UTS Test



- **Klasse 1 Oberfläche**
Oberfläche, bei der die mittlere Oberflächenenerosion über 50 Jahre nicht mehr als 4 mm, mit einzelnen Stellen von 6 mm, überschreitet.
- **Klasse 2 Oberfläche**
Oberfläche, bei der die mittlere Oberflächenenerosion über 50 Jahre nicht mehr als 8 mm, mit einzelnen Stellen von 12 mm, überschreitet.
- **Klasse 3 Oberfläche**
Oberfläche, bei der die mittlere Oberflächenenerosion über 50 Jahre nicht mehr als 12 mm, mit einzelnen Stellen von 18 mm, überschreitet.

Der Kunde würde dann den benötigten Oberflächenabschluss bestimmen und dies würde die Basis für die Gewährleistungstest des Materials, in Übereinstimmung mit dem UTS-Test wie oben erläutert, bilden.

Zusammenfassung

Ein wenig Arbeit ist bis heute getan in der Entwicklung eines Labortests, der eine zuverlässige Vorhersage der in der Nutzungsdauer eines Lehmwandgebäudes auftretenden Erosion ist. Der UTS-Dauerhaftigkeitstest dieses Berichtes ist entwickelt worden als ein Ergebnis extensiver Feld- und Laborversuche und unterstützt eine logische Basis für Gewährleistungstest von Lehmbaumaterialien, die in einer besonderen klimatischen Region genutzt werden. Weitere Forschung ist von den Autoren an bestehenden Bauten durchgeführt worden, um die Ergebnisse des UTS-Tests mit Langzeit- vor Ort-Erfahrungen zu vergleichen.

Referenzen

- [1] Archer, J, 1987, Building a Nation, William Collins, Sydney, Australia.
- [2] Fitzmaurice, R., 1958, "Manual on Stabilised Soil Construction for Housing", Technical Assistance Program, United Nations.
- [3] Heathcote, K.A. "Durability of Earth Wall Units", PhD Thesis, Faculty of Engineering, University of Technology Sydney, 2002.
- [4] Heathcote, K.A., "Resistance of Earthwall Buildings to Weathering by Wind-Driven Rain", The Australian Institute of Building Papers, No 6, pp13-20, 1995.
- [5] Heathcote, K.A., "Durability of Earthwall Buildings", Construction and Building Materials ", Vol 9 No 3, pp185-189, 1995
- [6] Heathcote, K.A. and Sri Ravindrarajah, R, "Relationship Between Spray Erosion Tests and the Performance of Test Specimens in the Field", Sustainable Construction into the Next Millennium – Environmentally Friendly and Innovative Based Materials, Joao Pessoa, Brazil, Nov 2000.
- [7] Heathcote, K.A., and Moor, G.J., "Durability of Cement Stabilised Earth Walls", Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Barcelona, Spain 2000.
- [8] Middleton, G.F., 1952,"Earth-Wall Construction", Bulletin No 5, Commonwealth Experimental Building Station, Sydney, Australia.
- [9] Moor, G.J. and Heathcote, K.A., "Earth Building in Australia - Durability Research", Moderner Lehmabau 2002, Berlin, Germany ISBN 3-8167-6118-6

Further research is being carried out by the authors on existing earth structures to compare the results of the UTS test with long-term in-situ performance.

References

- [1] Archer, J, 1987, *Building a Nation*, William Collins, Sydney, Australia.
- [2] Fitzmaurice, R., 1958, "Manual on Stabilised Soil Construction for Housing", Technical Assistance Program, United Nations.
- [3] Heathcote, K.A. "Durability of Earth Wall Units", PhD Thesis, Faculty of Engineering, University of Technology Sydney, 2002.
- [4] Heathcote, K.A., "Resistance of Earthwall Buildings to Weathering by Wind-Driven Rain", *The Australian Institute of Building Papers*, No 6, pp13-20, 1995.
- [5] Heathcote, K.A., "Durability of Earthwall Buildings", *Construction and Building Materials* ", Vol 9 No 3, pp185-189, 1995
- [6] Heathcote, K.A. and Sri Ravindrarajah, R, "Relationship Between Spray Erosion Tests and the Performance of Test Specimens in the Field", *Sustainable Construction into the Next Millennium – Environmentally Friendly and Innovative Based Materials*, Joao Pessoa, Brazil, Nov 2000.
- [7] Heathcote, K.A., and Moor, G.J., "Durability of Cement Stabilised Earth Walls", Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Barcelona, Spain 2000.
- [8] Middleton, G.F., 1952, "Earth-Wall Construction", Bulletin No 5, Commonwealth Experimental Building Station, Sydney, Australia.
- [9] Moor, G.J. and Heathcote, K.A., "Earth Building in Australia - Durability Research", *Moderner Lehnbau* 2002, Berlin, Germany ISBN 3-8167-6118-6