

## Verstärkung beschädigter Gebäude aus stabilisierten Lehmsteinen

Lehm wird in verschiedener Weise zum Bauen verwendet. Lehmsteine, Wellerlehm, Flechtwerk und Bewurf, Stampflehm usw. sind unterschiedliche Lehmbauweisen. Der Naturbaustoff Lehm ist ein ideales Material für die Errichtung ökologischer Gebäude auf Grund seiner Vorteile wie nahezu Nullenergieaufwand, Recyclingfähigkeit und Umweltfreundlichkeit. Dennoch hat die reine Lehmbauweise zwei Hauptprobleme: (1) Verlust an Festigkeit bei Durchfeuchtung und (2) Erosion durch Regeneinwirkung und Probleme der Dauerhaftigkeit. Um diese Probleme zu bewältigen, werden Lehme durch Verdichtung und Zementzusätze stabilisiert. Der mit Stabilisatoren gemischte Lehm wird mit optimalem Feuchtigkeitsgehalt zu einem dichten Block gepresst. Ein solcher Block wird stabilisierter Lehmblock (stabilised mud block–SMB) oder verdichteter Lehmblock (compressed earth block–CEB) genannt.

Vor der Erfindung von Maschinen zur Verdichtung von Blöcken wurden manuelle Verdichtungsstechniken ausprobiert. Beispiele von handverdichteten SMB kann man in den Konstruktionen von 260 Häusern in Bangalore (Indien) von 1949 (Madhavan and Narsinga Rao, 1949) sehen. Die sogenannte CINVA RAM, im Jahre 1952 in Kolumbien entwickelt, ist die erste Maschine zum Zweck der Verdichtung von Lehm zu einem CEB. In Kolumbien, Chile, Venezuela, Bolivien und Brasilien gibt es zahlreiche Gebäude, die mit solchen Blöcken aus der CINVA RAM gebaut wurden (U.N. 1964). Die Verwendung von maschinenverdichteten stabilisierten Lehmblöcken für den Bau von Mauerwerk ist seit den letzten fünf Jahrzehnten verbreitet. SMBs und CEBs wurden für die Konstruktion von Gebäuden auf der ganzen Welt verwendet. Es gibt mehr als 30.000 SMB-Gebäude allein in Indien. Ein beträchtlicher Umfang an Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist weltweit mit der SMB-Technologie verbunden. Durchführungsvorschriften zur SMB-Produktion und -Nutzung sind im Entstehen. Auch wenn das Konzept der Herstellung und Nutzung von SMB einfach erscheint, ist die Technologie nicht frei von Problemen. Hauptprobleme sind das Erreichen des richtigen Mischungsverhältnisses und Verdichtungsgrades zur optimalen Ausführung sowie die erreichte Festigkeit und Dauerhaftigkeit der SMBs. Dieser Beitrag basiert auf einer Studie zum Versagen von tragenden Mauerwerkswänden im Zusammenhang mit der Verwendung von SMBs und damit verbundenen Hilfsmaßnahmen.

### Die SMB Technologie

Lehm kann sowohl durch den Verdichtungsprozess als auch durch die Verwendung von Zusätzen wie Zement, Kalk usw. stabilisiert werden. Die SMB-Herstellung nutzt beide Prozesse. Die wesentlichen Schritte bei der SMB-Produktion sind: (a) Auswahl von geeignetem Lehm und Zugabe von Sand, um ein optimales Mischungsverhältnis zu erreichen, (b) Herstellung des Lehm-Sand-Gemisches, Mischen der erforderlichen Menge des ausgewählten Stabilisators und Zugabe der richtigen Wassermenge sowie (c) Pressen des Blocks in der Maschine zur benötigten Verdichtung (Abb. 1) und Trocknung.

Üblicherweise werden die Blöcke auf der Baustelle hergestellt. Die folgenden Hauptfaktoren beeinflussen die Charakteristik der SMBs: (a) Zusammensetzung des Lehm-Sand-Gemisches, (b) Verdichtung des Blockes und (c) Typ und Mengenanteil des Stabilisators. Das Verhalten von SMBs kann durch Bezug auf Parameter wie (a) Festigkeit im feuchten Zustand (sofortige und Langzeitfestigkeit), (b) Wasserabsorption und (c) Dauerhaftigkeit bewertet werden.

Mehr Details zur SMB-Technologie kann man in den Studien von Lunt 1970, Houben und Guillaud 1994, Heathcote 1995, Venkatarama Reddy und Jagadish 1995, Walker und Stace 1997, Walker et al 2000 und vielen anderen Veröffentlichungen finden. Der Einfluss von Kornverteilung, Verdichtung und Stabilisatorengehalt auf die Festigkeit und Dauerhaftigkeit von SMBs wurde bereits ausführlich in Studien von Venkatarama Reddy und Jagadish 1995, Peter Walker 2004, Venkatarama Reddy und Ajay Gupta 2005, Venkatarama Reddy et al 2007 diskutiert. Die Kennwerte in Tabelle 1 werden für die Herstellung von SMBs empfohlen.

### Verhalten von SMB-Wänden und die Dauerhaftigkeit von SMBs

Ein zufriedenstellendes Verhalten des Gebäudes aus SMB-Mauerwerk ist das wichtigste Anliegen des Hausbesitzers. Eine Zahl von Faktoren beeinflusst das Langzeitverhalten von SMB-Wänden. Eine Verwitterung von SMB-Wänden hat meistens zwei Gründe:

(a) verschiedene Faktoren im Zusammenhang mit der Materialzusammensetzung des Blocks und (b) Abrieb durch mechanische Einflüsse.

## Retrofitting of damaged stabilised earth block buildings

Earth is used for building construction in various forms. Adobe, cob, wattle and daub, rammed earth, etc. represent some such forms of earth construction. Natural earth is an ideal material for the construction of green buildings because of the environmentally-friendly advantages it offers such as its nearly zero energy density and recyclability. However, pure earth constructions suffer from two major drawbacks: (1) loss of strength on saturation, and (2) erosion due to rain impact and problems of durability. In order to overcome these problems earth is stabilised through the process of compaction and cementitious additives. Earth mixed with stabiliser is compacted at optimum moisture into a dense block. Such a block is termed as stabilised mud block (SMB) or stabilised compressed earth block (CEB).

Before the advent of machines for the compaction of blocks, manual compaction techniques were tried. Examples of hand-compacted SMB can be seen in the construction of 260 houses in Bangalore (India) in 1949 (Madhavan and Narsinga Rao, 1949). The CINVA RAM press is the first machine, developed in Columbia in 1952, for the purpose of compacting earth into a high-density block. A number of houses using Cinva-ram-made blocks can be seen in Columbia, Chile, Venezuela, Bolivia and Brazil (U.N. 1964). The use of machine-compacted stabilised earth blocks has been in vogue for the construction of masonry buildings for the last five decades. Such blocks have been used for the construction of buildings throughout the world. There are more than 30,000 SMB buildings in India. A considerable amount of research and development is being carried out on SMB technology across the globe. Codes of practice on SMB production and use are emerging. Even though the concept of making and using SMB appears simple, the technology is not free of problems. Major problems include assessing the correct mix proportions/density required for optimum performance, and assessing the strength and durability of SMB. This paper is focused on a study of failures associated with SMB masonry walls used in load bearing masonry and the related possible remedial measures.

### SMB Technology

Earths can be stabilised by the process of compaction as well as the use of additives like cement, lime and so on. SMB production uses both these processes. Salient steps followed in SMB production are: (a) selection of suitable earth and reconstitution

of the earth by adding sand to obtain an optimum mix composition, (b) processing earth-sand mixture, mixing of adequate quantity of selected stabilizer and addition of optimum water and (c) pressing the block in a machine to the required density (Fig. 1) and curing.

Generally the blocks are produced at the construction site in a decentralised manner. Major factors influencing the characteristics of SMB are: (a) composition of the earth-sand mixture, (b) density of the block and (c) type and quantity of stabiliser. Performance of the SMB can be assessed with reference to parameters such as (a) wet strength (immediate and long-term), (b) water absorption and (c) durability.

More details on SMB technology can be found in studies by Lunt 1970, Houben and Guillaud 1994, Heathcote 1995, Venkatarama Reddy and Jagadish 1995, Walker and Stace 1997, Walker et al 2000 and many other publications. The influence of earth grading, density and stabiliser content on the strength and durability of stabilised mud blocks has been discussed in greater detail in the studies conducted by Venkatarama Reddy and Jagadish 1995, Peter Walker 2004, Venkatarama Reddy and Ajay Gupta 2005, Venkatarama Reddy et al 2007. The specifications given in Table 1 are recommended for the production of SMB.

### Performance of SMB walls and the durability of SMB

Satisfactory performance of the SMB masonry building is the most important concern for a building's owner. A number of factors influence the long-term performance of SMB walls. Deterioration/weathering of SMB can be attributed to: (a) various factors related to the material composition of the block and (b) disintegration caused by mechanical means.

Among the several factors pertaining to material composition, the clay minerals present in the block are a major contributing factor for the long-term deterioration of SMB. Unstabilised clay pockets possess lot of affinity for water. On absorbing water clay can undergo swelling, on drying shrinkage. This is manifested as surface cracks as shown in Fig. 2. Cyclic wetting and drying can disrupt the established cementitious bonds between various particles causing SMB to deteriorate with age. Frost action can also cause established cementitious bonds among various particles within the SMB matrix to snap leading to the deteriora-



Bei der Materialzusammensetzung ist ein wichtiger Faktor für den Langzeitverschleiß des SMBs der Anteil an Tonmineralen im Block. Unstabilisierte Tonklumpen besitzen eine große Empfindlichkeit für Wasser. Wenn Wasser aufgenommen wird, führt dies zum Quellen des Tons und zum Schwinden beim Trocknen. Das zeigt sich in Oberflächenrissen wie in Abb. 2. Der Bewitterungszyklus von Durchfeuchtung und Trocknen kann die vorhandene Zementbindung zwischen den einzelnen Partikeln zerstören und den langsamen Verschleiß der SMBs bewirken. Frosteinwirkung kann ebenso zur Zerstörung der vorhandenen Zementbindung zwischen verschiedenen Partikeln innerhalb der SMB-Matrix führen und den Verschleiß der Blöcke verursachen. Daher kann der Tongehalt im SMB, der Anteil an Stabilisator und das Ausmaß der Bewitterung das Verhalten der SMB bestimmen.

Nach dem Entstehen von Rissen findet Erosion und Lochbildung statt (Abb. 3), was dann für den Verschleiß von SMB-Wänden verantwortlich ist. Eindringendes Regenwasser an der Wandoberfläche oder Wasser von undichten Leitungen kann die Erosion und das Ausspülen beschleunigen. Mit zunehmendem Verschleiß löst sich schließlich eine Schicht der Oberfläche des Blocks, was zu Versagen durch Abplatzungen führt (siehe Abb. 4).

Der gerissene Block lässt mehr Feuchtigkeit ins Innere, was zu weiteren Rissen führt. Wenn das Reißen schwerwiegender wird, platzen Teile des Blocks ab (Abb. 5). Blöcke an den Ecken und Kanten von Wänden, Fensteröffnungen und Stürzen sind dieser

Versagensart mehr ausgesetzt. Dieser Versagenstyp kann die Wand erheblich beschädigen und zum Einsturz der Konstruktion führen (Abb. 6).

Erosionstest durch Besprühen, Durchfeuchtungstest, Bewitterungstest, Draht-Auszugtest mit Bewitterungszyklus sind die Haupttypen vereinfachter Laboruntersuchungen verschiedener Forscher. Die Bewitterungstests zeigen grundsätzlich Gewichtsverlust nach einer Anzahl von Zyklen. Es gibt indirekte Testmethoden (wie lineare Ausdehnung bei Durchfeuchtung und das Verhältnis zwischen der Festigkeit in feuchtem Zustand und im trockenen), welche die Dauerhaftigkeit von SMBs beleuchten. Es gibt kaum andere Studien, welche das Praxisverhalten von SMB-Wänden mit Laboruntersuchungen korrelieren. Williams führte 2002 eine Untersuchung bestehender SMB-Gebäude in Indien durch und versuchte, die Labortestwerte mit den erhobenen Wetterdaten zu korrelieren. Es gibt Versuche des Autors u. a. von 2003 und von 2002, die lineare Ausdehnung bei Durchfeuchtung und Erosionstestergebnisse mit einigen örtlichen Wetterdaten zu korrelieren.

Die Erosion und das Ausspülen sind hauptsächlich auf mechanischen Abrieb zurückzuführen, während das Riss-Schwell-Abplatzen-Versagen auf die Materialzusammensetzung des Blocks zurückzuführen ist. Der Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit der SMBs im feuchten Zustand (100 mm Würfel aus dem Block geschnitten) und dem Gewichtsverlust nach 50 Zyklen der Durchfeuchtung und Trocknung wird in Abb. 7 (Venkatarama Reddy u. a. 2003) gezeigt.

Blöcke von verschiedenen Gebäuden wurden für diese Tests verwendet. Aus den begrenzten Testergebnissen ergibt sich eine gute Korrelation zwischen Gewichtsverlust und Festigkeit im feuchten Zustand. Der Gewichtsverlust fällt sprunghaft bei 2,5 MPa Festigkeit, wo er unter 2% bleibt. Abb. 8 zeigt einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Gewichtsverlust und Ausdehnung bei Durchfeuchtung. So wie die lineare Ausdehnung wächst, so wächst auch der Gewichtsverlust. Für eine lineare Ausdehnung von <0,10% ist der Gewichtsverlust <2%. Die Laboruntersuchungen von Venkatarama Reddy und Jagadish (1995) zeigten, dass bei Werten von <2% Gewichtsverlust und <0,15% Ausdehnung bei Durchfeuchtung eine gute Qualität an SMBs erreicht ist. Beschleunigte Erosionsversuche durch Besprü-

| Kennwertdetails                                                       | Grenzwerte   |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1. Materialzusammensetzung                                            |              |
| a) Tonanteil (< 0,002 mm)                                             | 10 - 15 %    |
| b) Sandanteil (0,075 - 4,75 mm)                                       | > 70 %       |
| c) Verhältnis Stabilisator-Ton                                        |              |
| i) Für nicht expandierende Tonminerale                                | ≥ 0,50       |
| ii) Für expandierende Tonminerale                                     | ≥ 0,75       |
| 2. Blockstärke (für Maschinen mit gleichbleibendem Kompressionsdruck) | < 100 mm     |
| 3. Trockendichte des Blocks                                           | > 1,80 gm/cc |
| 4. Gewichtsverlust                                                    |              |
| a) nach ASTM D559 test                                                | < 5 %        |
| b) nach Bewitterungstest (20 Zyklen)                                  | < 2 %        |
| 5. Lineare Ausdehnung bei Durchfeuchtung                              | < 0,10 %     |

Tabelle 1 – Kennwerte für Lehm und Stabilisatoranteil

1 SMB Herstellung (Handpresse)  
SMB production (manual press)

2 Spannungsrisse durch Schwinden  
Splitting cracks due to shrinkage



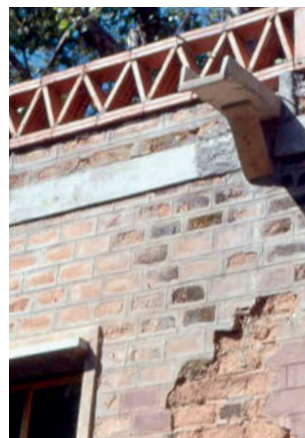
tion of SMB. Hence, the quantity of clay present in the SMB, percentage of stabiliser, extent of exposure to cyclic wetting and drying inform the performance of SMB.

Erosion and pitting (Fig. 3) follow the development of cracks and are responsible for the deterioration of SMB walls. Impinging rainwater droplets on the wall surface or water from leaking pipes, can hasten erosion and pitting. As the deterioration progresses with time a layer of the block surface peels off, causing spalling to occur as shown in Fig. 4.

Where blocks are cracked, moisture can penetrate deeper inside the structure leading to further cracking. As cracking becomes severe a portion of the block spalls away (Fig. 5). Blocks present at the corners and edges of walls, window sills and jambs are more prone for such types of failure. Such failure can damage the wall considerably and can lead to the eventual collapse of the structure (Fig. 6).

Spray erosion tests, drip tests, cyclic wetting and drying tests and wire scratch tests with cyclic wetting-drying are the major types of accelerated laboratory tests adopted by several investigators. Cyclic wet-dry tests basically monitor weight loss after a number of cycles of the test. There are indirect test methods (such as linear expansion on saturation and wet strength to dry strength ratio) throwing light on the durability of SMB. There are hardly any studies, which have correlated the field performance of SMB walls with laboratory tests. Williams (2002) carried out a survey of existing SMB buildings in India and attempted to correlate the laboratory test values to the filed weathering data. There are also attempts by Venkatarama Reddy et al (2003) and Venkatarama Reddy (2002) to correlate linear expansion on saturation and erosion test results with some field weathering data.

Erosion and pitting failure is mainly attributed to mechanical abrasion while the cracking-swelling-spalling failure to the material composition of the block. The relationship between wet compressive strength of the SMB (100 mm cubes cut from the block) and weight loss after 50 cycles of wetting and drying is shown in Fig. 7 (Venkatarama Reddy et al 2003). Blocks collected from some buildings were used for these tests. From the limited test results available there is a good correlation between weight



loss and wet strength. Weight loss falls steeply up to 2.5 MPa strength, beyond which weight loss is below 2%. Fig. 8 shows a reasonable relationship between weight loss and expansion on saturation. As linear expansion increases the weight loss also increases. For a linear expansion of  $< 0.10\%$ , the weight loss is  $< 2\%$ . It should be noted here that laboratory studies by Venkatarama Reddy and Jagadish (1995) showed that  $< 2\%$  weight loss and  $< 0.15\%$  expansion on saturation lead to good quality SMB material. Accelerated spray erosion tests conducted by Williams on about eight samples did not show any correlation between depth of erosion and other properties like strength, linear expansion and weight loss.

### The performance of plastered SMB wall surfaces

It is a common assumption that if an SMB wall is eroding and showing signs of failure, plastering the surface with a cement mortar plaster will protect the SMB wall against further deterioration. Fig. 9 shows the failure of plastered SMB walls. Here it is clearly visible that the rigid cement plaster layer is separating from the wall surface, in the process pulling off a portion of the SMB block causing damage to the SMB wall. The main reason for the peeling off of plaster is the differential shrinkage between the cement mortar layer and the SMB block. When the plastered SMB wall is exposed to moisture, the block surface behind the plaster layer is partially saturated and swells. After the moisture dissipates due to drying, the swollen layer of the block shrinks causing shrinkage cracks. A few cycles of wetting and

| Specification details                                                | Limiting values |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Material composition                                              |                 |
| a) Clay fraction ( $< 0.002$ mm)                                     | 10 - 15 %       |
| b) Sand fraction (0.075 - 4.75 mm)                                   | $> 70$ %        |
| c) Stabiliser to clay ratio                                          |                 |
| i) For non-expansive clay minerals                                   | $\geq 0.50$     |
| ii) For expansive clay minerals                                      | $\geq 0.75$     |
| 2. Block thickness<br>(for machines using static compaction process) | $< 100$ mm      |
| 3. Dry density of the block                                          | $> 1.80$ gm/cc  |
| 4. Weight loss                                                       |                 |
| a) After ASTM D559 test                                              | $< 5$ %         |
| b) After cyclic wetting & drying test (20 cycles)                    | $< 2$ %         |
| 5. Linear expansion on saturation                                    | $< 0.10$ %      |

Table 1 – Specifications for earth and stabiliser ratios



hen von Williams an etwa 8 Probekörpern zeigten keine Korrelation zwischen der Erosionstiefe und anderen Eigenschaften wie Festigkeit, lineare Ausdehnung und Gewichtsverlust.

### Verhalten von verputzten SMB-Wandoberflächen

Es wird oft angenommen, dass eine SMB-Wand, die verwittert ist und Anzeichen von Versagen zeigt, mit einer Zementputzlage auf der Oberfläche gut geschützt werden kann. Auf Abb. 9 ist das Versagen verputzter SMB-Wände zu sehen. Diese Bilder zeigen klar, dass die steife Zementputzlage sich von der Wandoberfläche löst und zusätzlich ein Teil des Blocks herausgelöst wird, was zur Beschädigung der SMB-Wand führt. Der Hauptgrund für das Herauslösen des Putzes ist das unterschiedliche Schwindverhalten von Zementmörtel und den SMBs. Ist die verputzte SMB-Wand Feuchtigkeit ausgesetzt, wird die Blockoberfläche hinter der Putzlage partiell durchfeuchtet und quillt an. Wenn die Feuchtigkeit verschwunden ist, kommt es durch das Trocknen der angeschwollenen Wand zum Schwinden in dieser Schicht, was wiederum Schwindrisse verursacht. Einige wenige Zyklen der Durchfeuchtung und des Trocknens führen zur Ablösung der Putzlage gemeinsam mit einer Schicht des Blocks.

### Verstärkung geschädigter SMB-Wände

Das Verhalten von SMB-Wänden hängt stark von der Qualität der stabilisierten Lehmblöcke ab. Der Zerfall und die Zerstörung an geschädigten SMB-Wänden kann im Allgemeinen in die folgenden drei Typen eingeteilt werden: (a) Aufspaltung von Oberflächenrisse (Abb. 2); (b) Erosion und Herauslösen (Abb. 3) und (c) Risse und Abplatzungen (Abb. 4 und 5). Alle drei Arten der Schädigung können auf unzureichende Stabilisierung der Tonminerale in dem für die SMBs verwendeten Lehm zurückgeführt werden. Es gibt drei Möglichkeiten für die Reparatur und Verstärkung der geschädigten SMB-Wand, die abhängig sind vom Ausmaß der Zerstörung. Die Details dafür werden im Folgenden erläutert.

#### Partieller Verputz mit Zement-Lehm-Mörtel

Oberflächenrisse, Herauslösen und Abplatzungen sind grundsätzlich verbunden mit erhöhtem Tonanteil im verwendeten Lehm für die SMBs und unzureichender Stabilisierung des Tons. SMBs mit dieser Art der Schädigung haben ein großes Ausdehnungsmaß bei Durchfeuchtung ( $>0,15\%$ ). Es ist sehr wichtig, die beschädigte Wandoberfläche mit einem passenden Mörtel zu



reparieren. Dabei liegt die Kompatibilität in den Kennwerten des Schwindverhaltens des Mörtels und der SMBs. Diese Erkenntnis ist vor allem wichtig, um unterschiedliches Schwinden zwischen Block und aufgetragenem Mörtel auf der geschädigten Oberfläche verhindern zu können. Zement-Lehm-Mörtel mit einem Tonanteil von etwa 10% und einem Zementgehalt von 10 bis 12% sind geeignet und werden daher für den partiellen Verputz von geschädigten SMB-Oberflächen verwendet. Abb. 10 zeigt eine partiell verputzte Oberfläche, die sich entsprechend bewährt hat.

Richtlinien und Verfahren zum partiellen Verputz sind die folgenden:

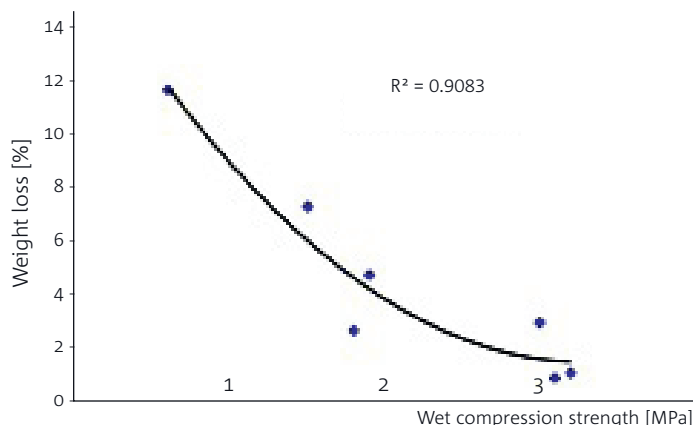
- 1 Die geschädigte Oberfläche des Blocks muss natürlich durchgetrocknet sein. Alle losen Bestandteile müssen mit einer Bürste von der geschädigten Oberfläche gefegt werden.
- 2 Man trägt eine Lage Zementschlämme (1:1 Gewichtsanteile) auf die gereinigte Oberfläche mit der Bürste auf.
- 3 Man trägt eine Lage Zement-Lehm-Putz auf und verbindet die verputzte Oberfläche mit der benachbarten Wandoberfläche bündig.
- 4 Die verputzte Oberfläche sollte mindestens sieben Tage durch Besprühen mit Wasser nachbehandelt werden

### Anbringen einer zusätzlichen, vorgesetzten SMB-Verkleidung auf die geschädigte Wand

Geschädigte SMB-Wände aus qualitativ minderwertigen SMBs sind anfällig für spritzendes Regenwasser von den Dachüberständen und vom Regen, der an den Wänden ungeschützter SMBs herabfließt. Die Schädigung kann schlimmstenfalls zum Einsturz der Wand führen. In solcher Weise geschädigte Wände können durch den Vorbau einer zusätzlichen Verkleidung der Wand mit dünnen (50-60 mm) qualitativ hochwertigen SMBs geschützt werden. Abb. 11 zeigt eine solche SMB-Verkleidung einer geschädigten SMB-Wand. Besondere Beachtung sollte dabei auf die gute Verankerung der dünnen SMB-Lage in der Hauptwand durch regelmäßiges Einbinden von Blöcken gelegt werden.

### Vorbeugender Austausch geschädigter SMB-Wände

Schäden an SMB-Wänden, wie oben dargestellt, können sehr schwerwiegend sein. Ernsthafte Schädigungen der Wände können die Sicherheit des Gebäudes gefährden und zu dessen Versagen führen. Abb. 12 zeigt ein solches Versagen. Die eingestürzte



drying leads to the plaster layer separating from the SMB base along with a portion of the block.

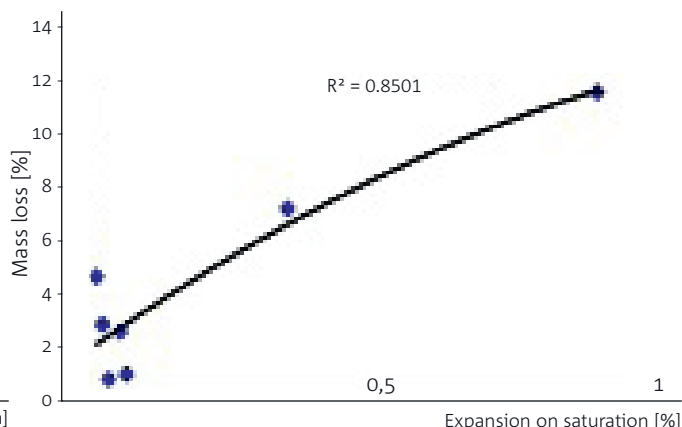
### Retrofitting damaged SMB masonry walls

Performance of the SMB masonry wall greatly depends upon the quality of the SMB. The distress and damage in exposed SMB walls can be broadly classified into the following three types of damages: (a) the splitting of surface cracks (Fig. 2) (b) erosion and pitting (Fig. 3) and (c) cracking and spalling (Fig. 4 and 5). All three types of damages can be attributed to the inadequate stabilisation of the clay mineral in the earth used for SMB. Three types of repair and retrofitting techniques are possible depending upon the extent of damage the exposed SMB wall has suffered. Details of these three types of repair and retrofitting are discussed below.

#### Patch plastering with earth-cement mortar

Surface cracking, pitting and spalling is generally associated with an excess proportion of clay in the earth used for the SMB and inadequate stabilisation of the clay. SMB blocks with this kind of damage exhibit a large amount of expansion on saturation ( $> 0.15\%$ ). It is therefore essential to repair the damaged block surface using a compatible mortar. Here, the compatibility refers to the shrinkage characteristics of the mortar and the SMB. This is mainly to avoid differential shrinkage between the block and the patched up mortar on the damaged surface. Earth-cement mortars with a clay fraction of about 10% and a cement content of 10-12% are compatible and such mortars are therefore used for the patch plastering of damaged SMB block surfaces. Fig. 10 shows a patch plastered surface performing satisfactorily. The guidelines and procedure for patch plastering are as follows:

- 1 Allow the damaged block surface to dry naturally. Remove the loose particles on the damaged surface using a brush.
- 2 Apply a coat of fresh cement-water slurry (1:1 by weight) on the cleaned damaged surface using a brush.
- 3 Apply a coat of earth-cement plaster and finish the plastered surface flush with the neighbouring block surface.
- 4 Cure the plastered surface by sprinkling on water for at least seven days



### An additional wall lining of SMB around the damaged walls (e.g. as skirting)

Exposed SMB walls with poor quality SMB blocks are prone to damage due to splashing rain water from roof overhangs and rain water run-off on unprotected SMB walls. The damage can be severe, leading even to collapse of the wall. Such types of damaged walls can be protected by providing an additional protective layer of thin (50-60 mm) good quality SMB blocks. Fig. 11 shows a wall lining of SMB applied as skirting to a damaged SMB wall. Precautions should be taken to ensure proper anchoring of the thin SMB masonry wall lining to the main wall through bonding blocks at regular intervals.

#### Progressive replacement of the damaged SMB wall

Damages to SMB walls caused by any of the processes explained in the previous section can be very severe. Such damages can jeopardise the safety of the building and could lead to collapse. Fig. 12 shows one such situation. A collapsed wall (either partially or fully) can be rebuilt without disturbing the neighbouring areas or sections of the wall above. The procedure followed and precautions to be observed in such repair/retrofitting works are highlighted below:

- 1 Support the floor or roof slab with properly designed props so that the wall to be repaired is temporarily relieved of its load.
- 2 Divide the wall into a number of sections approximately 1.0 m wide. Remove one section of the wall and rebuild the portion with good quality SMB blocks.
- 3 Ensure that the brick coursing at the edges of each section is such that it interlocks with the next section.
- 4 The SMB wall is rebuilt progressively in one metre sections and cured for a week. Fig. 12 illustrates an example of such a retrofitted SMB wall.
- 5 Allow the wall to dry for 2-3 weeks before applying load to the wall by releasing the temporary props supporting the floor or roof slab.
- 6 Fig. 13 shows a retrofitted SMB wall that does not affect the first floor wall.

### Concluding remarks

In this paper stabilised mud block technology and the related durability issues have been discussed. Mechanisms of failure modes of SMB masonry structures were illustrated through ex-



Wand kann stellenweise oder ganz erneuert werden ohne die angrenzenden Wandabschnitte oder die darüber liegenden zu beeinträchtigen. Das Verfahren und die zu beachtenden Hinweise bei einer solchen Reparatur sind im Folgenden dargestellt:

- 1 Abstützen der Decke oder des Daches mit Stützen, die geeignet sind, die Last auf die Wand zwischenzeitlich aufzunehmen.
- 2 Unterteilen der Wand in eine Zahl von Abschnitten von etwa 1,0 m Breite. Entfernen eines Abschnittes und Erneuern der Wand mit qualitativ hochwertigen SMBs.
- 3 Verzahnung der einzelnen SMBs zwischen den Abschnitten gewährleisten, damit eine gute Verbindung untereinander im Mauerwerk erreicht wird. Die SMB-Wand wird schrittweise in Abschnitten von 1,0 m erneuert und eine Woche nachbehandelt. Abb. 12 illustriert ein solches Beispiel von verstärkter SMB-Wand.
- 4 Die Wand sollte 2-3 Wochen trocknen können, bevor sie wieder belastet wird, indem die zwischenzeitlich eingesetzten Stützen wieder entfernt werden.
- 5 Abb. 13 zeigt eine erneuerte SMB-Wand,- bei der das Obergeschoß unbeeinträchtigt blieb.

### Zusammenfassende Bemerkungen

Die Technologie für die Herstellung und Verwendung stabilisierter Lehmsteine und deren Beständigkeit wurden diskutiert. Die Mechanismen des Versagens in den SMB-Wandkonstruktionen wurden anhand von Beispielen erläutert. Methoden für die Erneuerung und Verstärkung von SMB-Wänden wurden anschaulich erklärt. Der Hauptgrund der Schädigung und der Zerstörung von SMBs ist auf den Überschuss an Ton und dessen unzureichende Stabilisierung zurückzuführen. Partieller Verputz, eine äußere SMB-Verkleidung und stellenweises Ersetzen der Wände mit qualitativ hochwertigen stabilisierten Lehmblöcken sind die drei bewährten Methoden der Reparatur und Erneuerung geschädigter SMB-Wände

### Referenzen

- [1] Heathcote, K., Durability of earth wall buildings, *Construction & Building Materials*, 9 (3), 1995,
- [2] Houben, H. and Guillaud, H., *Earth Construction – A comprehensive guide*, Intermediate Technology Publication, London, 1994.
- [3] Lunt, M. G., *Stabilized Soil Blocks for Buildings*, Overseas Building Notes, No. 184, 1980.
- [4] Madhavan, R. and Narasinga Rao, C. N., Report on labour housing scheme, The City Improvement Trust Board, Bangalore, India, 1949.
- [5] Peter J. Walker, Strength and erosion characteristics of earth blocks and earth block masonry, *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, 16 (5), 2004, pp. 497-506
- [6] U.N. Report, Soil-cement – its use in building, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York, USA, 1964.
- [7] Venkatarama Reddy B. V., Timothy Williams and Peter Walker, 2003, Durability of stabilised mud block buildings in Southern India, Proc. 9th Intl. Conf. on Study and Conservation of Earthen Architecture Terra 2003, Yazd-Iran, 492 – 503
- [8] Venkatarama Reddy, B. V. and Jagadish K.S., Influence of soil composition on the strength and durability of soil-cement blocks, *The Indian Concrete Journal*, 1995, 69 (9), 517-524.
- [9] Venkatarama Reddy, B. V., Richardson Lal and Nanjunda Rao, K. S., Optimum soil grading for the soil-cement blocks, *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, Vol. 19, No. 2, 2007 pp. 139 – 148.
- [10] Venkatarama Reddy, B. V. and Ajay Gupta, Characteristics of soil-cement blocks using highly sandy soils, *Materials and Structures (RILEM)*, 38 (280), 2005, 651-658.
- [11] Venkatarama Reddy B. V., Timothy Williams and Peter Walker, Durability of stabilised mud block buildings in Southern India, Proceedings of 9th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture Terra 2003, 29 Nov. – 2nd Dec. 2003, Yazd-Iran, pp. 92-503
- [12] Venkatarama Reddy B. V., Long-term strength and durability of stabilised mud blocks, Proc. 3rd International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies, Construction Publishing House, 12-13 March 2002, Hanoi, Vietnam, pp. 422 – 431.
- [13] Walker, P. and Stace, T., Properties of some cement stabilized compressed earth blocks and mortars, *Materials and Structures*, Vol. 30, Nov. 1997, pp. 545-551.
- [14] Williams, T., 2002, The durability of stabilised mud block construction of buildings in southern India, Dept. of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, U.K., M. Eng. dissertation



amples. Methods of restoration and retrofitting the SMB walls were clearly demonstrated. The main cause of damage and deterioration in SMB is attributed to excess clay content and its improper stabilisation. Patch plastering, external SMB wall linings and the partial replacement of walls with good quality SMB masonry are the three methods that can be used for the repair and retrofitting of deteriorated SMB walls.

#### References

- [1] Heathcote, K., Durability of earth wall buildings, *Construction & Building Materials*, 9 (3), 1995,
- [2] Houben, H. and Guillaud, H., *Earth Construction – A comprehensive guide*, Intermediate Technology Publication, London, 1994.
- [3] Lunt, M. G., *Stabilized Soil Blocks for Buildings*, Overseas Building Notes, No. 184, 1980.
- [4] Madhavan, R. and Narasinga Rao, C. N., Report on labour housing scheme, The City Improvement Trust Board, Bangalore, India, 1949.
- [5] Peter J. Walker, Strength and erosion characteristics of earth blocks and earth block masonry, *Journal of Materials in Civil Engineering* (ASCE), 16 (5), 2004, pp. 497 - 506
- [6] U. N. Report, Soil-cement – it's use in building, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York, USA, 1964.
- [7] Venkatarama Reddy B. V., Timothy Williams and Peter Walker, 2003, Durability of stabilised mud block buildings in Southern India, Proc. 9<sup>th</sup> International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture, Terra 2003, Yazd-Iran, 492 - 503
- [8] Venkatarama Reddy, B. V. and Jagadish K.S., Influence of soil composition on the strength and durability of soil-cement blocks, *The Indian Concrete Journal*, 1995, 69 (9), 517 - 524.
- [9] Venkatarama Reddy, B. V., Richardson Lal and Nanjunda Rao, K. S., Optimum soil grading for the soil-cement blocks, *Journal of Materials in Civil Engineering* (ASCE), Vol. 19, No. 2, 2007 pp. 139 - 148.
- [10] Venkatarama Reddy, B. V. and Ajay Gupta, Characteristics of soil-cement blocks using highly sandy soils, *Materials and Structures* (RILEM), 38 (280), 2005, 651 - 658.
- [11] Venkatarama Reddy B. V., Timothy Williams and Peter Walker, Durability of stabilised mud block buildings in Southern India, Proceedings of 9<sup>th</sup> International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture Terra 2003, 29 November - 2 December 2003, Yazd-Iran, pp. 492 - 503
- [12] Venkatarama Reddy B. V., Long-term strength and durability of stabilised mud blocks, Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies, Construction Publishing House, 12 - 13 March 2002, Hanoi, Vietnam, pp. 422 - 431.
- [13] Walker, P. and Stace, T., Properties of some cement stabilized compressed earth blocks and mortars, *Materials and Structures*, Vol. 30, Nov. 1997, pp. 545 - 551.
- [14] Williams, T., 2002, The durability of stabilised mud block construction of buildings in southern India, Dept. of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, U.K., M. Eng. dissertation

12 Einsturz des Endes einer Wand und Erneuerung mit qualitativ hochwertigen SMB  
Collapse of an end wall and retrofitting with good quality SMB wall

13 SMB-Gebäude nach Erneuerung  
SMB-Building after retrofitting