RWTH RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN

ibac INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG AACHEN

Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung
Referat II 13
Deichmannsaue 31-37
53179 Bonn

Institut für Bauforschung Aachen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Brameshuber
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach

Postfach, 52056 Aachen
Schinkelstraße 3, 52062 Aachen

Telefon +49 (0) 241 80-9 51 00
Durchwahl +49 (0) 241 80-9 51 45
Telefax +49 (0) 241 80-9 21 39

E-Mail graubohm@ibac.rwth-aachen.de

www.ibac.rwth-aachen.de

06.07.2007

(f-917-kb-gb.doc)

KURZBERICHT

Instandsetzung wasserbeaufschlagter Mauerwerkbauteile – Einfluss einer Wasserbeaufschlagung auf Eigenschaften von Mauerwerk und Bauteilbekleidungen, Austrocknungsmaßnahmen und deren Wirkung – F 917

Aktenzeichen: Z6 – 10.07.03 – 04.12

1 EINLEITUNG UND FORSCHUNGSZIEL

In den letzten Jahren führten in Europa immer häufiger extreme Niederschläge zu größeren Überschwemmungen, die erhebliche Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verursacht haben. Mauerwerkbauteile werden infolge dieser außergewöhnlichen Wetterereignisse meist langzeitig stark durchfeuchtet bzw. oft vollständig wassergesättigt. Bislang ist jedoch nicht bekannt, inwieweit dadurch die Festigkeits- und Gebrauchseigenschaften des Mauerwerks negativ beeinflusst werden. Erkenntnisse über geeignete Instandsetzungsmaßnahmen zur Ertüchtigung der Tragfähigkeit und Wiederherstellung der Gebrauchsfähigkeit sowie Maßnahmen für eine schnelle und möglichst vollständige Austrocknung sind ebenso noch weitgehend unbekannt bzw. deren Effektivität noch nicht nachgewiesen worden. Zudem sind die durch Hochwasser verursachten Schäden aufgrund hoher Durchfeuchtungs- und Verunreinigungsgrade der Bauteile nur bedingt mit herkömmlichen Feuchtigkeitsschäden vergleichbar.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollte der Einfluss einer intensiven und langzeitigen Wassereinwirkung auf die wesentlichen mechanischen Eigenschaften von Mauerwerkbauteilen experimentell untersucht und beurteilt werden, um zukünftig fehlerhafte oder unzureichende Zustandsbeurteilungen der betroffenen Bauteile sowie nicht geeignete Instandsetzungsmaßnahmen und damit verbundene Bauschäden vermeiden zu können. Daneben sollte in einer umfassenden Literaturrecherche eine Übersicht der sich mit der Thematik „Hochwasser“ befassenden Literatur erarbeitet werden. Die Arbeit soll dazu beitragen, unnötige Kosten bei der Zustandsbeurteilung und Instandsetzung von Hochwasserschäden zu reduzieren.

2 LÖSUNGSWEG UND UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Es wurde zunächst die sich auf die vorliegende Thematik beziehende Literatur erfasst, gesichtet und ausgewertet. Bei den experimentellen Untersuchungen sollten Änderungen der jeweils wesentlichen mechanischen Eigenschaften durch Wasserlagerung, vergleichend zu nicht wasserbeanspruchten Probekörpern versuchsmäßig bestimmt und beurteilt werden. Hierfür wurden zunächst jeweils die Ausgangseigenschaften der Prüfkörper nach mindestens 1-monatiger Lagerung im Laborklima 20/65 ermittelt. Danach wurden die wesentlichen mechanischen Eigenschaften nach Wasserlagerung der Prüfkörper bis zur Massekonstanz bestimmt. Nach Abschluss dieses Bearbeitungsteils wurden sämtliche Prüfkörper entprechend Ihrer Position im Mauerwerk so abgedichtet, dass eine Austrocknung der Mauersteine analog zu der im Bauwerk möglichen Austrocknung erfolgen konnte. Die Austrocknung der Prüfkörper erfolgte in einer dafür hergestellten Trockenkammer. Die Prüfkörpermasse wurde während des Austrocknungsvorgangs in regelmäßigen Zeitabständen ermittelt. Nachdem etwa die Hälfte des maximalen Feuchtegehaltes infolge der vorangegangenen Wasserbeaufschlagung erreicht worden war sowie bei Erreichen etwa des anfänglichen Feuchtegehaltes vor der Wasserbeaufschlagung wurden die wesentlichen Eigenschaftswerte erneut ermittelt. Sämtliche Untersuchungsergebnisse wurden beschrieben, tabellarisch sowie anschaulich grafisch dargestellt und bewertet.

3 LITERATURSICHTUNG

Über die Thematik „Hochwasser“ und die damit verbundenen Schäden existiert eine Vielzahl unterschiedlichster Literatur. Nach den zahlreichen Extremwetterereignissen der letzten Jahre besteht ein großes öffentliches Interesse, vergangene Hochwasser und deren Folgen zu analysieren, um aus den Erfahrungen und den Fehlern, die im Zusammenhang mit der Einschätzung und der anschließenden Sanierung von Hochwasserschäden immer noch gemacht werden, zu lernen. Problematisch erscheint in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass zu bestimmten mit der Thematik zusammenhängenden Problemstellungen die unterschiedlichsten Auffassungen existieren und dadurch teilweise widersprüchliche Handlungsempfehlungen für die Praxis gegeben werden. Unter Bezug auf nationale und internationale Datenbanken wurde die sich auf die vorliegende Thematik beziehende Literatur erfasst, gesichtet und ausgewertet. Dies betrifft zunächst eine Übersicht der bei Hochwasserkatastrophen üblicherweise entstehenden Schäden, die sich nach /Kun02/ und /Rah07/ im Wesentlichen einteilen lassen in statisch relevante Schäden, Schadstoffbelastung und Feuchteschäden, sowie deren Ursachen. Es werden weiterhin einige für die Trocknung von Mauerwerkbauteilen relevante Grundlagen der Bauphysik u. a. aus /Lut97, Zim06/ erläutert und eine detaillierte Übersicht über den Bereich der derzeit in der Baupraxis gebräuchlichen Trocknungstechniken bei durchfeuchteten Wänden gegeben. Dabei wird nach /Kna05/ im Wesentlichen unterschieden zwischen der Luftentfeuchtung mittels Kondensations- bzw. Adsorptionstrockner, dem Einsatz von Heizlüftern, der Strahlungstrocknung z. B. durch Mikrowellen oder Infrarotflächenheizungen und neuerer Trocknungsverfahren, deren Effektivität teilweise noch nicht wissenschaftlich nachgewiesen worden ist.

4 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Es wurden Untersuchungen an ungeputzten Einzelsteinen, an einseitig bzw. beidseitig geputzten Einzelsteinen sowie an ungeputzten Zweistein-Prüfkörpern und an Mauerwerk-Pfeilern durchgeführt. Verwendet wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Baustoffe.

Tabelle 1: Verwendete Mauerwerkbaustoffe

Mauerstein	Mauermörtel	Putzmörtel	
		Außen	Innen
1	2	3	4
KS-R (P) 12-1,8-6DF-175 (Steinart A)	DM-a NMIIa	-	Gips-Kalk-Putz Gips-Putz Dünnlagenputz
Vbl 2-0,45-10DF-300 (Steinart B)	LM21	Kalk-Zement-Leichtputz	Gips-Kalk-Putz
Hbl 4-1,0-12DF-365 (Steinart C)	NMIIa	Kalk-Zement-Putz	Gips-Kalk-Putz
Vbl 12-2,0-6DF-175 (Steinart D)	DM-d	-	Gips-Kalk-Putz
PHLz 8-0,7-248 · 365 · 249 (Steinart E)	DM-e	Faserleichtputz	Gips-Kalk-Putz
PP 4-0,5-499 · 365 · 249 (Steinart F)	DM-f	Faserleichtputz	Gips-Kalk-Putz

Folgende Eigenschaften wurden ermittelt:

(1) Ungeputzte Einzelsteine:

Maße, Masse, Ebenheit und Planparallelität, Trockenrohdichte, Feuchtegehalt, Druckfestigkeit und Längszugfestigkeit.

(2) Geputzte Einzelsteine:

Maße, Masse, Trockenrohdichte, Feuchtegehalt und Haftzugfestigkeit des Putzes nach DIN EN 1015-12 /DIN00/.

(3) Zweistein-Prüfkörper:

Maße, Masse, Verbundfestigkeit zwischen Mauermörtel und Mauersteinen (Biegehaftzugfestigkeit nach DIN EN 1052-5 /DIN05/), Fugendruckfestigkeit nach DIN 18555-9 /DIN99/, Trockenrohdichte des Fugenmörtels.

(4) Mauerwerk-Pfeiler:

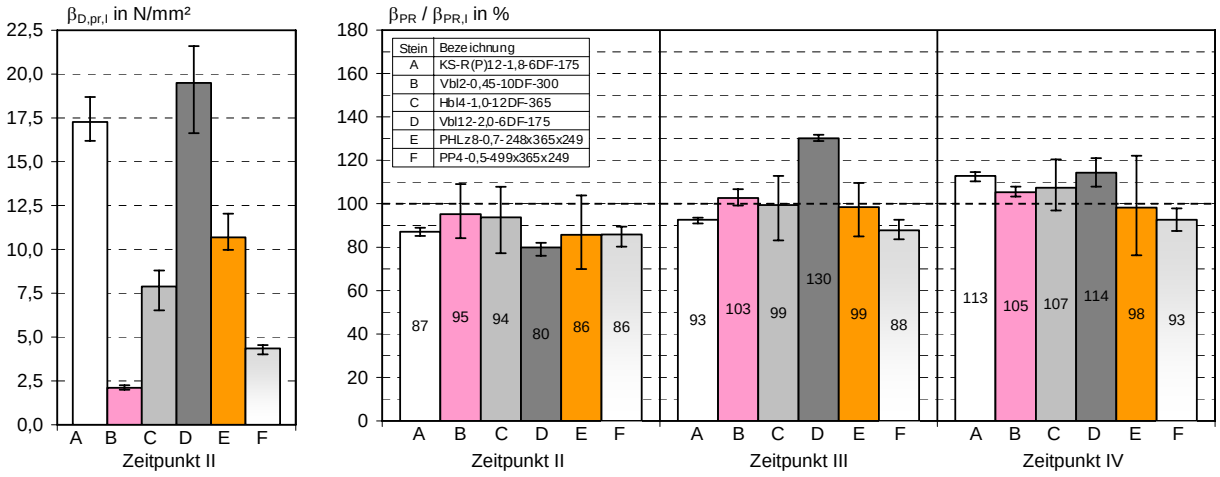
Maße, Masse, Mauerwerkdruckfestigkeit, Feuchtegehalt.

5 VERSUCHSERGEBNISSE

Die Untersuchungen an den ungeputzten Einzelsteinen haben ergeben, dass sich die dauerhafte Wasserbeanspruchung und anschließende Austrocknung auf den Ursprungsfeuchtegehalt in den meisten Fällen eher positiv auf die Festigkeitseigenschaften (Druck- und Zugfestigkeit) auswirken. Es ergaben sich bei vier von sechs Steinarten höhere mittlere Druckfestigkeitswerte als vor der Wasserlagerung. Bei den übrigen Steinsorten (Planhochlochziegel und Porenbeton-Plansteine) wurden nach der Rücktrocknung nahezu die Festigkeitswerte im Ausgangszustand erreicht.

Die Ergebnisse der Zugversuche haben ähnliche Tendenzen aufgezeigt, wobei nur zwei der sechs Steinarten im rückgetrockneten Zustand höhere Zugfestigkeitswerte als vor der Wasserlagerung erreichen. Für die übrigen Steinarten ergeben sich mit einer Ausnahme jedoch nur geringfügig niedrigere Werte als zu Beginn der Untersuchungen.

Eine Übersicht der Ergebnisse der Druck- und Zugversuche aller Steinarten sind in den Bildern B1 und B2 dargestellt.



<u>Bild B1:</u> Druckversuche an Einzelsteinen in Richtung Steinhöhe
Übersicht

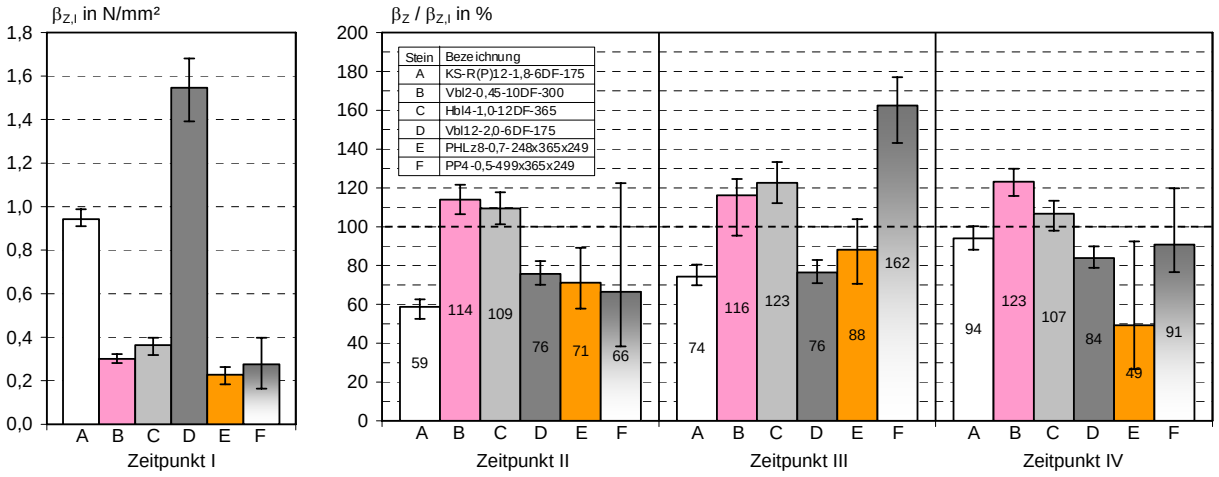


Bild B2: Zugversuche an Einzelsteinen in Richtung Steinhöhe
Übersicht

Die Untersuchungen an den Innenputzen haben gezeigt, dass die Haftzugfestigkeit auf den verschiedenen Untergründen nach der Wasserlagerung teilweise zwar auf sehr niedrige Werte (bis zu 15 % der Ausgangsfestigkeit) absinkt, nach der Rücktrocknung der Mauersteine auf den Ausgangsfeuchtegehalt sich jedoch in vielen Fällen sozusagen „erholt“ und nur noch unwesentlich niedrigere Werte erreicht werden als vor der Wasserlagerung. In zwei Fällen erreichen die Putze nach der Rücktrocknung sogar 11 % bzw. 83 % höhere Haftzugfestigkeitswerte als vor der Wasserlagerung. Die Untersuchungen an den auch für den Außenbereich vorgesehenen Putzen haben ähnliche Ergebnisse ergeben. Nur in einem Fall ergaben sich nach Wasserlagerung und anschließender Rücktrocknung geringfügig niedrigere Werte als vor der Wasserlagerung. Bei den übrigen Stein-Putz-Kombinationen wurden zum Zeitpunkt IV entweder die gleichen oder deutlich höhere Festigkeitswerte erreicht, als zum Zeitpunkt I.

Eine Übersicht der Ergebnisse der Haftzugversuche aller Putzarten enthält die Tabelle 2.

Tabelle 2: Haftzugfestigkeit

Steinart	Putz	β_{HZ} zum Zeitpunkt				$\beta_{HZ,IV}$ / $\beta_{HZ,I}$
		I	II	III	IV	
-	-	N/mm²				-
1	2	3	4	5	6	7
A	GP	0,46	0,10	0,24	0,51	1,11
	GKP	0,26	0,04	0,10	0,15	0,58
	DLP	0,51	0,16	0,61	0,94	1,83
B	GKP	0,23	0,07	0,06	0,16	0,71
	KZLP	0,15	0,11	0,15	0,21	1,37
C	GKP	0,28	0,10	0,16	0,23	0,80
	KZP	0,08	0,05	0,22	0,20	2,63
D	GKP	0,20	0,08	0,10	0,18	0,89
E	GKP	0,14	0,06	0,07	0,09	0,68
	FLP	0,23	0,18	0,16	0,21	0,90
F	GKP	0,23	0,06	0,14	0,21	0,87
	FLP	0,21	0,12	0,15	0,21	1,00

Die Untersuchungen an Zweistein-Körpern haben ergeben, dass sich die Wasserlagerung bis zur Wassersättigung der Mauersteine und die anschließende Austrocknung auf den Ursprungsfeuchtegehalt überwiegend positiv auf die Verbundeigenschaften (Biegehaftzugfestigkeit) und die Festigkeit des Mörtels in der Fuge auswirkt oder nach Rücktrocknung auf den Ursprungsfeuchtegehalt kein Einfluss auf die jeweilige Festigkeit erkennbar ist.

Nach Abschluss der Untersuchungen an den Einzelsteinen und Zweistein-Prüfkörpern wurden an zwei ausgewählten Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen Versuche an 5-Stein-Pfeilern durchgeführt, bei denen sich die Wasserlagerung und anschließende Austrocknung am wenigsten bzw. am stärksten ausgewirkt haben. Abgesehen von den Pfeilerversuchen an Kalksandsteinen im ausgetrockneten Zustand zeigen die Untersuchungen ähnliche Ergebnisse wie die Untersuchungen an den Einzelsteinen der beiden Steinarten.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des Forschungsprojektes war es, den Einfluss einer intensiven und langzeitigen Wassereinwirkung auf die wesentlichen mechanischen Eigenschaften von Mauerwerkbauteilen experimentell zu untersuchen und zu beurteilen.

Im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche wurden hierfür zunächst sämtliche für die Thematik Hochwasser in Bezug auf Mauerwerkbauteile relevanten Veröffentlichungen zusammengestellt und ausgewertet. Dies beginnt mit einer Übersicht der bei Hochwasserereignissen üblicherweise entstehenden Schäden und deren Ursachen. Es wurden weiterhin einige für die Trocknung von Bauteilen relevante feuchtetechnische Grundlagen der Bauphysik erläutert, die für das Verständnis und die Wirkungsweise bislang bekannter Sanierungsmaßnahmen nach einer Hochwassereinwirkung, insbesondere im Bereich der verschiedenen Trocknungstechniken, von Interesse sind. Schließlich wurde eine Übersicht über den Bereich der derzeit in der Baupraxis bei durchfeuchteten Wänden angewandten Trocknungsverfahren gegeben.

Das Versuchsprogramm und die verwendeten Materialien wurden vorgestellt. Die Untersuchungen wurden an handelsüblichen Steinsorten (Kalksand-Plansteine, Leichtbeton-Vollblöcke, Leichtbeton-Hohlblöcke, Planhochlochziegel und Porenbeton-Plansteine) mit sinnvollen Mörtelkombinationen (Normalmörtel, Leichtmörtel, Dünnbettmörtel) durchgeführt. Die Putze für die Steinoberflächen wurden ebenfalls nach den jeweils üblichen Anwendungsfällen in der Praxis ausgewählt. Zur Anwendung kamen drei verschiedene Innenputze (Gips-Kalk-Putz, Gips-Putz und Dünnlagenputz) sowie drei marktübliche Außenputze (Faserleichtputz, Kalk-Zement-Leichtputz, Kalk-Zement-Putz).

Die durchgeführten Untersuchungen und deren Ergebnisse wurden ausführlich beschrieben und dargestellt. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Einfluss einer intensiven Wassereinwirkung auf die mechanischen Eigenschaften von Mauerwerkbauteilen nach anschließender Rücktrocknung auf den Ausgangsfeuchtegehalt als relativ gering einzustufen ist. Sowohl bei den Druck- als auch bei den Zugversuchen an Einzelsteinen konnte gezeigt werden, dass die mechanischen Eigenschaftswerte nach der Rücktrocknung auf den Ausgangszustand in den meisten Fällen über den Wert vor der Wasserlagerung angestiegen sind oder das ursprüngliche Festigkeitsniveau wieder nahezu erreicht haben. Die Untersuchungen an den geputzten Einzelsteinen haben ergeben, dass nicht nur die Außen- sondern auch die Innenputze nach der Rücktrocknung ähnlich hohe bzw. höhere Haftzugfestigkeitswerte erreichen, als vor der Wasserbeanspruchung. Entgegen der meist in der Praxis gegebenen Empfehlung lassen die Untersuchungsergebnisse darauf schließen, dass Putze nach einer Hochwasserbeanspruchung zumindest bezüglich der Haftung auf dem Putzgrund nicht grundsätzlich von den Mauerwerkwänden entfernt werden müssen. Hinsichtlich der meist auftretenden Verschmutzungen und der Austrocknungsdauer von durchfeuchteten geputzten Mauerwerkwänden ist es vermutlich dennoch sinnvoll, Putzflächen nach einer Hochwasserbeanspruchung zu erneuern. Der Einfluss der Putze auf die Austrocknungsdauer von Mauerwerkbauteilen wurde jedoch im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht explizit untersucht. Aufgrund der teilweise nicht erklärbaren Ergebnisse bei den Untersuchungen an Mauerwerkpfeilern und um allgemeingültigere Aussagen treffen zu können, werden weiterführende Untersuchungen empfohlen.

7 LITERATUR

/DIN99/ DIN 18555-9:1999-09. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln - Teil 9: Festmörtel; Bestimmung der Fugendruckfestigkeit

/DIN00/ DIN EN 1015-12:2000-06 + 1982-09. Prüfverfahren für Mörteln für Mauerwerk - Teil 12: Bestimmung der Haftfestigkeit von erhärteten Putzmörteln

/DIN05/ DIN EN 1052-5:2005-06. Prüfverfahren für Mauerwerk - Teil 5: Bestimmung der Biegehaftzugfestigkeit

/Kna05/ Knaut, J. ; Berg, A.: Handbuch der Bauwerkstrocknung. Stuttgart : Fraunhofer IRB, 2005

/Kun02/ Kunow, F.: Hochwasserschäden - Lösungswege zur Schadensbeseitigung. DETAIL 2002, Heft 11, S. 1434-1437

/Lut97/ Lutz, P. ; Jenisch, R. ; Klopfer, H. ; Freymuth, H. ; Krampf, L. ; Petzold, K.: Lehrbuch der Bauphysik: Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima. 1. ; 2. ; 3. ; 4. Aufl. Stuttgart : Teubner, 1985; 1989; 1994; 1997

/Rah07/ Rahn, A.C.: Merkblatt zu Hochwasserschäden an Gebäuden. Verfügbar: http://www.ib-rahn.de/downloads.html

/Zim06/ Zimmermann, G. ; Ottomann, A. ; Klopfer, H. ; Soergel, C.: Wasserschäden. Schadensfälle - Leckortung - Bautrocknung - Verantwortlichkeit. Stuttgart : Fraunhofer IRB. - In: Schadenfreies Bauen (2006), Nr. 38