

## **Sachverständiger für Baustoffe und Baustoffschäden**

**Dipl.-Ing. Ingo Mielke**

Otto-Bartning-Straße 24  
D-99425 Weimar



Tel.: 03643 / 51 58 57

Mobil: 0160 / 49 27 007

Mail: ingo.mielke@t-online.de

---

## **Baustoffuntersuchungen – HWS Silbernkamp in Neustadt a. Rbge**

**Auftraggeber:**

DENKMALPLAN

Gesellschaft für Bauwerksanierung mbH

August-Bebel-Straße 28

99998 Körner

**Planungsbüro:**

Ingenieurgesellschaft

Heidt & Peters mbH

Sprengerstraße 38c

29223 Celle

**Auftragserteilung:**

21.11.2012



### **Inhalt:**

1. Probenahme und -beschreibung
2. Probenuntersuchungen
3. Vorschläge zur Sanierung

Dipl.-Ing. I. Mielke

Weimar, 23.02.2013

Der Bericht umfasst 17 Seiten mit 5 Tabellen und 30 Bildern.



**- BV Neustadt -**

## 1. Probenahme und Probenbeschreibung

Am 27.11.2012 erfolgte die Ortsbegehung mit Probenahme. Die Bohrkernentnahme wurde von der Fa. Denkmalplan Körner durchgeführt. Außerdem wurden an mehreren Stellen Mörtelstücke aus Fugen herausgestemmt.

Probenbeschreibung:

Die Bohrungen erfolgten im Trockenverfahren mit einer 100-mm-Bohrkrone, nur beim BK 3 musste ab 32 cm Tiefe wegen des harten Gesteins (Bohrkrone hatte sich festgefahren) auf 55 mm zurückgegangen werden.

Tabelle 1: Probenliste

Probe	Bilder	Entnahmestelle	Bemerkungen
BK 1	1 - 11	95 cm OKG; bis 75 cm Tiefe	
BK 2	12 - 17	25 cm OKG, bis 40 cm Tiefe	
BK 3	18 - 21	Innenwall, 92 cm rechts von Tor zum Verbindungsgang, Höhe 95 cm OK Torschwelle, bis 53 cm Tiefe	
4	12, 22 + 23	Wand rechts von Bohrung 2	Mörtelstücke mit Ziegel und von Mörtel umhüllter brauner Stein (offensichtlich Raseneisenerz)
5		unterhalb von Probe 4	aufgelesene Mörtelstücke
6	24 - 26	Innenwall	Mörtelstücke mit Stein
7	24+27+28	Innenwall	Mörtelstücke

Die Bilder sind mit einer Probenbeschreibung in der Fotodokumentation am Ende des Berichts zusammengefasst

Im Bereich des vorgesehenen Deichanschlusses, aus dem die Bohrkern 1 und 2 sowie die Proben 4 und 5 entnommen wurden, liegt das Kernmauerwerk frei, die ursprünglich vorhandene schützende Verkleidung durch das im unregelmäßigen Schichtverband ausgeführte Verblendmauerwerk fehlt hier schon. Das Kernmauerwerk wurde aus sehr verschiedenem Steinmaterial im regellosen Verbund mit teilweise hohem Mörtelanteil errichtet. Wahrscheinlich wurden die Steine satt in ein Mörtelbett gelegt, dadurch ist der Hohlraumanteil relativ gering.



- BV Neustadt -

Auch an den Wandungen der Bohrlöcher sind keine größeren Hohlräume erkennbar. Der sich beim Anblick des Bohrkerns 2 ergebende anscheinend schlechte Zustand des Mauerwerks ist dadurch bedingt, dass beim Anschneiden von sehr hartem Gestein der anliegende weichere Mörtel stärker belastet wird und damit leichter zermalt wird (siehe z. B. BK-Stück 2/3 im Bild 17).

Vor allem bei den Bohrkernabschnitten 1/2 und 1/3 (Bilder 4 bis 7) ist zu erkennen, dass der Mörtel einen sehr guten Haftverbund zum Stein hat und auch kleinere Steinstücke und Ziegel gut eingebunden sind. Aber der Mörtel kann auch Hohlräume aufweisen, im BK-Stück 1/3 z. B. von 10 mm x 5 mm sowie 30 mm x 10 mm Größe, die hier miteinander verbunden sind (Bilder 8 bis 11). Diese Hohlräume sind aber lokal begrenzt und führen nicht zu einer durchgängigen Durchströmung. Solche Hohlräume können deshalb bei einer Injektion nur bedingt verfüllt werden.

Der oben erwähnte Zustand des Mauerwerks trifft auch für den Innenwall zu. Allerdings zeigt der Bohrkern 3, dass sich der Mörtel im Bereich des Tores in Bezug auf Farbe und Struktur von den hellen Kalkmörteln des anderen Kernmauerwerks deutlich unterscheidet und vor allem der äußere Fugenmörtel eine schlechtere Qualität aufweist (siehe Bild 21).

Das ursprüngliche Verblendmauerwerk ist in zwei Abschnitten noch vorhanden. Allerdings hat diese Natursteinschale stellenweise nur noch einen geringen Verbund zum Kernmauerwerk und die Fugen sind auch sanierungsbedürftig (siehe Bilder 29 und 30).

## 2. Probenuntersuchungen

Die Bestimmung der Salzbelastung erfolgte an Proben, die aus dem vorderen Teil der Bohrkern 1 bis 3 entnommen wurden. Dazu wurde die jeweilige Probe <63 µm zerkleinert und ein wässriger Auszug hergestellt, indem 2 g der Probe in 100 ml destilliertem Wasser eine Stunde geschüttelt wurden. Im Filtrat wurden emissions-spektral-photochemisch (Kationen) bzw. chromatographisch (Anionen) die in der Tabelle 2 angegebenen Gehalte bestimmt.

Tabelle 2: Wasserlösliche Salze (Angabe in M.-%)

Probe	Entnahmestelle	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Salze
1/1	Mörtel - BK 1	0,10	0,01	0,05	0,03	0,05	0,02	<0,01	keine Salze
2/1	Ziegel - BK 2	0,10	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,01	keine Salze
3/1	Mörtel - BK 3	0,09	0,01	0,04	0,02	0,04	0,04	<0,01	keine Salze



- BV Neustadt -

Das Material ist nicht mit baustoffschädlichen, wasserlöslichen Salzen belastet, auch nicht durch Umwelteinflüsse. Bezüglich der stofflichen Verträglichkeit müssen deswegen an die einzusetzenden Mörtel keine besonderen Anforderungen gestellt werden.

Zur Ermittlung der Bindemittelart wurde aus jedem Bohrkern eine Mörtelprobe röntgenografisch analysiert. Dazu wurde die Probe schonend zerkleinert und auf dem Sieb 63 µm abgeseibt. Im Siebdurchgang liegt das Bindemittel angereichert vor, so dass vorhandene Zuschläge nur in geringem Maße bei der röntgenografischen Bestimmung stören.

Tabelle 3: Röntgenografische Analyse (halbquantitative Auswertung)

Mörtelprobe	Calcit	Gips	hydraul. Anteile <sup>2)</sup>	Quarz	Feldspäte	Muscovit	Mörtelart
1/1	++++ <sup>1)</sup>	o	Sp.	+++	+	o	Kalkmörtel
2/2	++++	o	Sp.	+++	++	o	Kalkmörtel
3/1	++++	o	o	+++	++	Sp.	Kalkmörtel

++++ hohe Intensität  
 + niedrige Intensität  
 Sp. in Spuren nachweisbar  
 o nicht vorhanden

1) auch Vaterit (Modifikation von Calciumcarbonat)

2) hydraulische Verbindungen (Hydrotalcit und/oder Hydrocalumit)

Die Mörtel sind Kalkmörtel. Das Bindemittel der Proben 1 und 2 enthält auch geringe hydraulische Anteile, darauf deuten die in Spuren nachgewiesenen Gehalte von Hydrotalcit oder Hydrocalumit hin sowie die Calciumcarbonat-Modifikation Vaterit, das sich sekundär bei der Karbonatisierung von hydraulischen Kalken bilden kann. Daraus resultiert auch die relativ hohe Druckfestigkeit einiger Mörtelstücke (siehe Tabelle 4). Der Zuschlag der Proben 1/1 und 2/1 ist ein vorwiegend Quarz enthaltener Sand. Der Zuschlag der Probe 3/1 ist deutlich dunkler und könnte aus einem anderen Vorkommen stammen.

In der Fugenmörtelprobe 3/1 konnten röntgenografisch keine hydraulischen Anteile nachgewiesen werden. Der Mörtel im hinteren Bohrkernabschnitt ist ebenfalls deutlich dunkler als die Mörtelproben in den anderen Wandabschnitten. Wahrscheinlich wurde der Bereich neben dem Tor zu einem anderen Zeitpunkt errichtet oder ausgebessert.



- BV Neustadt -

Die Kernmörtel mit ihrer relativ hohen Festigkeit und mit dem unklassierten Grubensand als Zuschlag sind typisch für historische Kalkspatzenmörtel.

Tabelle 4: Druckfestigkeiten ausgewählter Proben

Entnahmestelle	Probe	Probenart	Seitenlängen		Höhe	Bruchkraft	Druckfestigkeit
	Nr.		a	b			
Bohrkern 1	1/2	Mörtel - hellbeige	34,6	33,3	30,8	12,56	10,9
Mörtelstück aus der Wand	6/1-1	Mörtel - weiß	33,7	28,6	20,6	9,06	9,4
	6/1-2	Mörtel - weiß	23,8	19,6	15,0	4,25	9,1
aus der Wand	7/2	Mörtel - beige	36,0	24,5	21,7	4,67	5,3
		Mörtel			Mittelwert		8,7
aus der Wand	6/2	Sandstein (grau, feinkörnig)	32,3	32,4	30,5	49,50	47,3

Aus den Mörtelstücken wurden je nach verwertbarem Probenmaterial würfelartige Prüfkörper von 20 bis 35 cm Kantenlänge gesägt und auf Druckfestigkeit geprüft. Die ermittelten Festigkeiten sind wegen der nicht genormten Prüfkörperabmessungen als Richtwerte zu betrachten. Bei kleineren Abmessungen werden meistens höhere Druckfestigkeiten gemessen, nach unserer Erfahrung sind diese Messwerte 1,3 (bis 1,6) mal höher im Vergleich zu Normprismen.

Es wurden zwar Druckfestigkeiten bis 10,2 N/mm<sup>2</sup> gemessen, die hohen Festigkeiten resultieren aber daraus, dass nur aus festen Mörtelstücken Prüfkörper gewonnen werden konnten. Aus vielen Mörtelstücken konnten wegen der geringen Festigkeit keine prüfbaren Proben gesägt werden. Nach dem Bindemittel (Kalkmörtel mit geringen hydraulischen Anteilen) entspricht der Mörtel mindestens der Mörtelgruppe II ( $\geq 2,5$  N/mm<sup>2</sup>), eine höhere Festigkeit sollte wegen der begrenzten Anzahl der prüfbaren Proben den Berechnungen zur Mauerwerksfestigkeit nicht zu Grunde gelegt werden.

Die Festigkeiten der Mörtel liegen in der Höhe und der Schwankungsbreite im üblichen Bereich von historischen Kalkmörteln. Das trifft auch auf die Werte für die Rohdichte und die Gesamtwasseraufnahme zu (siehe Tabelle 5).

Die Mörtel sind als nicht frostbeständig einzustufen. Bei der Prüfung von mehreren Mörtelstücken, die in Anlehnung an ein Prüfverfahren für Festmörtel nach Knöfel und Schubert /1/ wassergesättigt in Folienbeuteln 15 Frost-Tau-Wechseln unterzogen wurden, war der Mörtel zerfallen.



- BV Neustadt -

Tabelle 5: Wasseraufnahme und Rohdichten ausgewählter Proben

Probe Nr.	Probenart	Gesamt-WA	Trocken-Rohdichte
		M.-%	g/cm <sup>3</sup>
1/2	Kalkstein	1,65	2,38
1/3	Kalkstein	3,57	2,49
1/2	Sandstein-hell	6,69	2,10
2/3	Sandstein-beige	6,41	1,96
6/2	Sandstein-grau	2,30	2,50
4/2	Raseneisenstein	16,93	1,79
2/1	Ziegel	14,22	1,68
4/1	Ziegel	15,29	1,69
1/2	Mörtel-hellbeige	21,10	1,51
6/1-3	Mörtel-weiß	29,87	1,34
7/1	Mörtel-weiß	29,94	1,32
7/2	Mörtel-beige	15,75	1,65

Die Gesamtwasseraufnahme unter Atmosphärendruck wurde nach dem auf der Norm basierenden Verfahren von Knöfel und Schubert /1/ bestimmt.

Die Wasseraufnahmen der Mörtel liegen mit ihrer Schwankungsbreite zwischen 15 und 30 M.-% in Bereichen, die für historische Kalkmörtel üblich sind. Das trifft auch für die Ziegel zu.

Die Wasseraufnahmen der dichten Kalksteine und Sandsteine sind erwartungsgemäß niedrig.

Eine Ausnahme ist der Raseneisenstein. Dieser Stein ist wegen seiner grobporigen Struktur auch direkt durchströmbar. Allerdings kommt er offensichtlich im Mauerwerk nicht häufig vor.

Der Kalkstein liegt mit seinen Eigenschaften (auch bezüglich seiner Festigkeit) im Bereich von dichten Muschelkalk oder Travertin. Der untersuchte helle Sandstein entspricht einem guten Bausandstein wie z. B. Elbesandstein. Der graue Sandstein ist noch feinkörniger und dichter, er hat auch die geringste Wasseraufnahme. Seine Druckfestigkeit liegt mit über 40 N/mm<sup>2</sup> im Bereich von vergleichbaren kieselig gebundenen Sandsteinen.



**- BV Neustadt -**

Verbaut wurde sehr unterschiedliches Steinmaterial, das sicher aus der näheren Umgebung stammt. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Kalkstein (dichter Muschelkalk)
- Sandsteine, kieselig gebunden (vorwiegend helle und sehr dichte graue Arten)
- Raseneisenstein (selten)
- Granit (siehe BK 3 – möglicherweise von eiszeitlichen Findlingen)
- Ziegelsteine.

Die Vielfalt der verbauten Steine zeigt, dass für den Bau der Bastionsmauer alles verfügbare Steinmaterial eingesetzt wurde. Die Natursteine besitzen im Wesentlichen ein geringes bis mittleres Wasseraufnahmevermögen und sind kaum durchströmbar. Nur der vorgefundene Raseneisenstein ist grobporig und kann deswegen voll durchströmt werden, Die bereichsweise verbauten Ziegel werden relativ schnell durchfeuchtet. Eine Schwachstelle können Hohlräume infolge ungenügender Vermörtelung (siehe z. B. BK-Stück 1/3) darstellen. Aber vor allem die Kalkmörtel sind eine Schwachstelle. Sie besitzen ein hohes Wasseraufnahmevermögen und sind kapillar stark saugend. Sie werden bei längerer Wassereinwirkung nicht beständig sein und können ausgelaugt werden.

### **3. Vorschläge zur Sanierung**

Nach den bisher über den Bauzustand gewonnen Erkenntnisse bei der BK-Entnahme und aus dem gewonnenen Bohrkernmaterial hat die bestehende Mauer offensichtlich einen inneren Zusammenhalt. Sie ist allerdings im freistehenden Bereich auf Grund ihrer relativ dicken Abmessungen eher als gemauerter Damm zu betrachten. Nur der Abschnitt des Innenwalls, in dem der Verbindungsgang nach außen führt, d. h. zumindest im Bereich des Eingangs, kann wegen seiner geringeren Stärke als tatsächliche Mauer betrachtet werden.

Im gegenwärtigen Zustand kann das freiliegende Kernmauerwerk nicht als Wasserbauwerk mit den dafür geltenden hohen Anforderungen eingestuft werden:

- der Mörtel ist ein Kalkmörtel, teilweise mit hydraulischen Anteilen, der langfristig nicht wasserbeständig und nicht frostbeständig ist;
- örtlich ist starker Bewuchs vorhanden;
- Angaben zur Gründung (Geometrie und Gründungstiefe) liegen dem Autor nicht vor, so dass gegebenenfalls eine Untersuchung durch Schürfe erforderlich ist.

Für Festlegungen zu den Sanierungsmaßnahmen, vor allem bezüglich der baustofflichen Auswahl, ist eine grundsätzliche Entscheidung erforderlich, ob die betreffenden Abschnitte der Bastionsmauern zukünftig als Wasserbauwerke betrachtet werden sollen und damit erhöhten Anforderungen unterliegen oder ob von einer seltenen und zeitlich nur begrenzten Wassereinwirkung ausgegangen werden kann. In letzterem Fall können die Anforderungen an die Baustoffe, besonders an die Mörtel, sicher niedriger sein.



**- BV Neustadt -**

Die folgenden Vorschläge beziehen sich auf den wahrscheinlicheren Fall, dass nur von einer seltenen und zeitlich begrenzten Wassereinwirkung ausgegangen wird. Dabei muss aber in Kauf genommen werden, dass das ungeschützte Kernmauerwerk bei jeder Hochwasserberührung weiter geschädigt wird, ohne dass die Mauer zunächst in ihrer Stabilität grundsätzlich beeinträchtigt wird. Das bedeutet, dass Teile des Mauerwerks infolge Mörtelaufweichung und –ausspülung herausgelöst werden können und gegebenenfalls Ausbesserungsarbeiten notwendig werden. Bei einer Überschwemmung kurz vor einer Frostperiode können solche Schäden stärker auftreten, weil der Mörtel ein hohes Wasseraufnahmevermögen besitzt und nicht frostbeständig ist.

Wenn mit einer längeren und häufigen Belastung der Mauer durch Hochwasser zu rechnen ist, ist eine Neuverblendung bis in Höhe der Hochwassergrenze zu empfehlen. Alternativ wäre ein steinsichtiges Verputzen des freiliegenden Kernmauerwerks im Trockenspritzverfahren möglich. Eine Handverfugung ist wegen der unregelmäßigen Oberfläche mit zum Teil großen Fugentiefen und –breiten nicht qualitätsgerecht ausführbar.

Im Bereich unmittelbar neben dem Tor zum Verbindungsgang ist zum sicheren Vermeiden einer Durchsickerung mindestens eine Sanierung der Fugen des Verblendmauerwerks und der Ersatz fehlender oder geschädigter Steine zu empfehlen. Dazu sind die Fugen 7 bis 10 cm tief auszuräumen. Die Verfugung kann im Trockenspritzverfahren erfolgen. Alternativ ist eine händische Verfugung möglich, was aber bei der großen Fugentiefe ein besonders sorgfältiges und aufwendiges Stopfen erfordert. Als Mörtel kann ein kalkhaltiger Zementmörtel der Mörtelgruppe M5 (nach alter Norm MG IIa) eingesetzt werden, wenn nicht die Anforderungen wie an ein Wasserbauwerk gestellt werden. Auf welcher Länge das unbedingt notwendig wird, ist von dem Abstand zwischen Außenseite und Verbindungsgang abhängig.

Für den Bereich des Deichanschlusses ist die Abdichtung der Mauer auf einer Länge von mindestens 2 m erforderlich, um ein Hinterströmen des Deiches zu verhindern. Dabei ist eine Verblendung mit Natursteinen und deren Verfugung mit einem Zementmörtel der Mörtelgruppe M10 (nach alter Norm MG III) die sicherste Lösung.

Vorgeschlagen wird, nach Festlegung des Konzeptes und den daraus resultierenden Anforderungen die konkrete Mörtelauswahl bei einer Beratung endgültig festzulegen.

## **Literatur**

- /1/ Knöfel, D.; Schubert, P. (Hrsg.): Handbuch: Mörtel und Steinerfüllstoffe in der Denkmalpflege. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1993.



- BV Neustadt -

## Fotodokumentation



Bild 1: Entnahmestelle BK 1; 95 cm OKG



Bild 2: Detail aus Bild 1



Bild 3: Bohrloch von BK 1; Bohrtiefe 75 cm

- BV Neustadt -



Bild 4: Bohrkern 1

BK 1/1: 0 – 18 cm = Mörtel mit Steinstückchen

BK 1/2: 18 – 42 cm = Stein (kaum Hohlräume)

BK 1/3: 42 – 70 cm = ½ Stein; ½ Mörtel (einige Hohlräume); Details siehe Bilder 7-11



Bild 5:

Detail zu Bild 4

BK-Abschnitt 1/1 (0-18 cm)

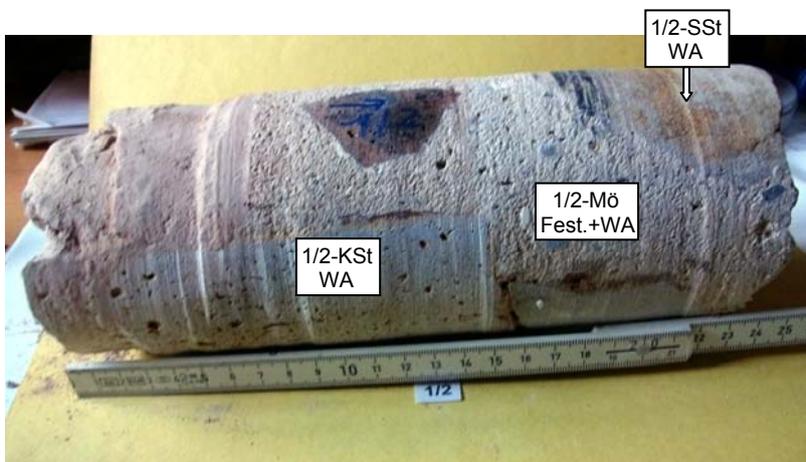


Bild 6: BK-Abschnitt 1/2

(18-42 cm)

daraus Proben:

Mörtel, Kalkstein, Sandstein

- BV Neustadt -



Bild 7:  
BK-Abschnitt 1/3 (42-70 cm)  
zu Bild 4 um 90° gedreht;  
daraus Kalkstein-Probe

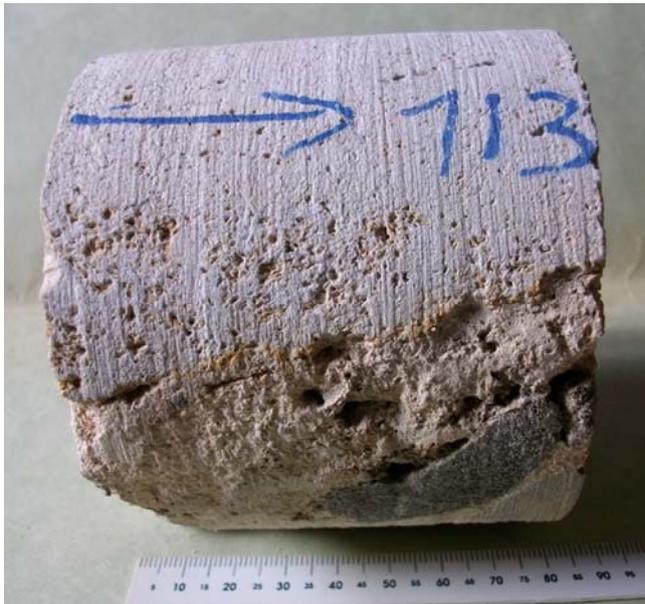


Bild 8: BK-Stück 1/3; Abschnitt aus Bild 7



Bild 9: „Rückseite“ zu Abschnitt 1/3



Bild 10: vordere Seite von Abschnitt 1/3



Bild 11: hintere Seite von Abschnitt 1/3

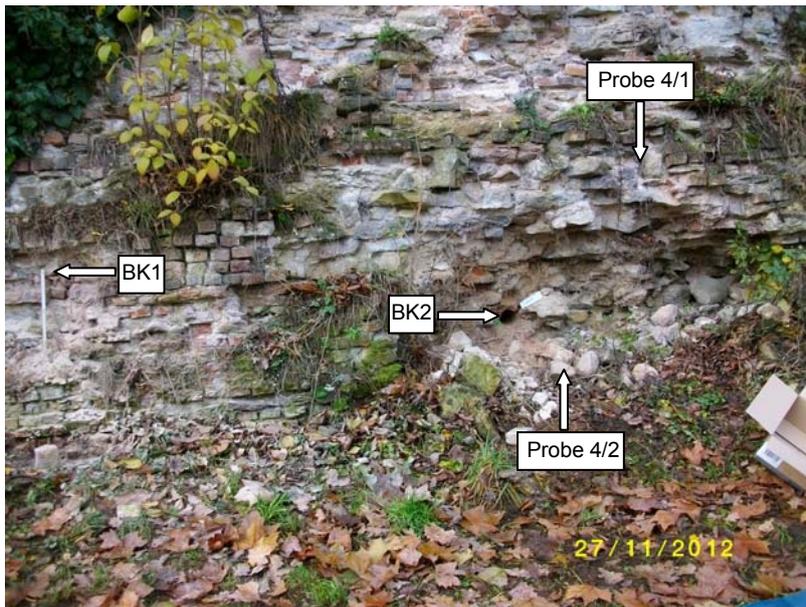


Bild 12: Entnahmestelle BK 2; 25 cm OKG und Entnahmestellen der Proben 4



Bild 13: Detail zu Bild 12



Bild 14:  
Bohrloch von BK 2;  
Bohrtiefe 40 cm



Bild 15: Bohrkern 2  
BK 2/1: 0 – 8 cm =  
Ziegelstück + Mörtelfuge  
BK 2/2: 8 – 19 cm =  
Mörtel und verschiedene  
angeschnittene Steine  
BK 2/3: 19 – 29 cm =  
Mörtel + Sandstein (innen)  
BK 2/4: 29 – 40 cm =  
Stein- und Mörtelteile

- BV Neustadt -



Bild 16: BK-Stück 2/1; siehe Bild 15;  
daraus Proben 2/1-Ziegel für Salzbestimmung und Wasseraufnahme



Bild 17: BK-Stück 2/3; siehe Bild 15;  
aus dem Inneren Probe 2/3-Sandstein für Wasseraufnahme

- BV Neustadt -



Bild 18: Entnahmestelle BK 3;  
92 cm rechts von Torgewände



Bild 19: Detail zu Bild 18; 95 cm OK Torschwelle



Bild 20:  
Bohrloch von BK 3;  
Bohrtiefe 53 cm



Bild 21: Bohrkern 3  
BK 3/1: 0– 8 cm =  
loser Mörtel  
BK 3/2: 8 – 20 cm =  
Kalkstein, z. T. Mörtel  
BK 3/3: 20 – 31 cm = loser  
Mörtel + ½ Stein/Granit  
+ Kalksteinstücke  
BK 3/4: 31 – 50 cm = loser  
Mörtel + Kalksteinstücke

- BV Neustadt -



Bild 22:  
Detail zu Bild 12;  
Ziegel von Mörtel umhüllt  
Probe 4/1-Zie für WA



Bild 23:  
Raseneisenstein  
Probe 4/2 für WA

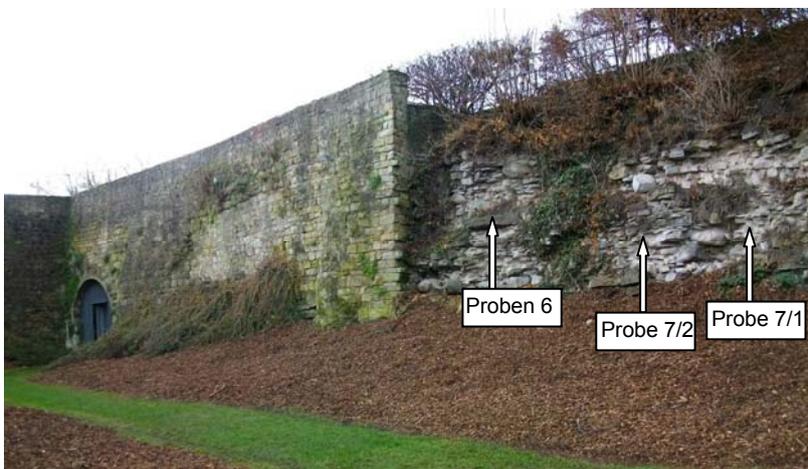


Bild 24:  
Entnahmestellen Proben 6+7

- BV Neustadt -



Bild 25:  
Detail aus Bild 24,  
Probe 6



Bild 26:  
Detail zu Bild 25,  
nach Abstemmen, daraus:  
Probe 6/1 - Mörtel  
Probe 6/2 - Sandstein  
jeweils für Festigkeit + WA

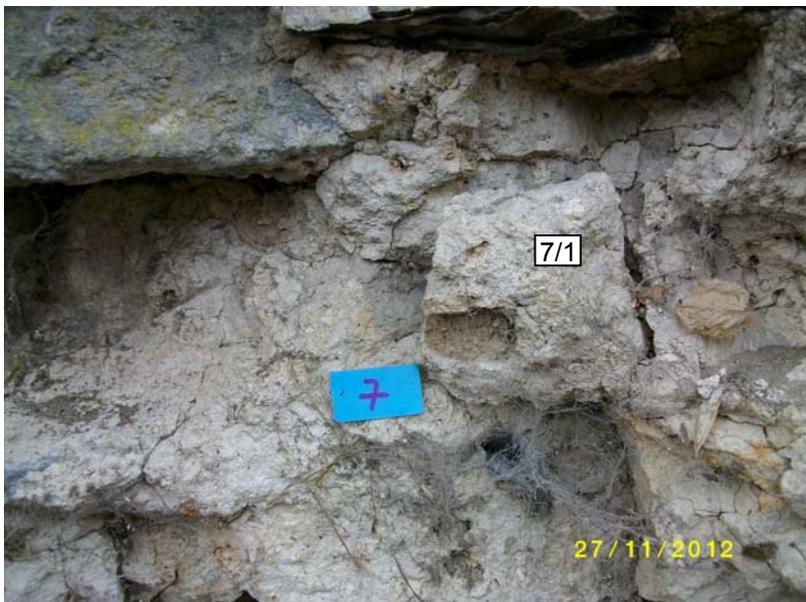


Bild 27:  
Detail aus Bild 24  
Mörtelprobe 7/1  
für Wasseraufnahme

- BV Neustadt -



Bild 28:  
Detail aus Bild 24  
Mörtelprobe 7/2  
für Festigkeit und WA



Bild 29: Rest der Mauerverblendung,  
z. T. hohllegend



Bild 30:, Detail aus Bild 29



---

Weimar, 30.03.2013

**DENKMALPLAN**

Gesellschaft für Bauwerksanierung mbH

August-Bebel-Straße 28

99998 Körner

**Ergänzung – HWS Silbernkamp in Neustadt a. Rbge.**

Entsprechend der E-Mail vom 22.03.2013 und nach telefonischer Rücksprache mit Herrn Brencher am 25.03.2013 werden die folgenden Ergänzungen bezüglich der Sanierung der Bastionsmauern gemacht.

An den Mauerwerksbereichen, bei denen ein Durchströmen unbedingt ausgeschlossen werden soll, ist die ursprünglich vorhandene Steinverblendung wieder herzustellen. Das betrifft vor allem den Bereich unmittelbar am Deichanschluss (in der gesamten Deichbreite) und zusätzlich mindestens bis auf eine Länge von 2 m rechts (Wasserseite) und links (Binnenseite) vom Deichfuß, wenn aus wasserbauingenieurtechnischer Sicht keine andere Länge für erforderlich erachtet wird.

Außerdem sollte der Bereich des inneren Walls, der nur einen relativ geringen Abstand zum Verbindungsgang hat, abgedichtet werden (Fugensanierung und gegebenenfalls Steinersatz).

Für die Vorsatzschale sind frostbeständige Natursteine von hoher Dichtigkeit mit einer geringen Wasseraufnahme im Bereich von 2 M.-% geeignet. Das kann z. B. Kalkstein sein, wie er am Objekt bereits vorhanden ist (wie die untersuchten Proben 1/2 und 1/3) oder gegebenenfalls auch ein relativ dichter Sandstein (wie die Probe 6/2). Keinesfalls sind Sandsteine mit hoher Porosität und großer Wasseraufnahme geeignet (wie z. B. die Sandstein-Proben 1/2 und 2/3). Natürlich kommen auch andere Gesteinsarten in Betracht, die eine niedrige Porosität und geringe Wasseraufnahme aufweisen (Quarzite, Dolomitstein). Für einen dauerhaften Verbund der Vorsatzschale mit dem Hinterfüllmauerwerk ist eine ausreichende Anzahl von Bindersteinen vorzusehen.

Für das Verfugen der Verblendsteine ist ein Mörtel der Mörtelgruppe M 10 (alt = MG III) zu verwenden. Für das Füllmauerwerk hinter den Verblendsteinen kann ein Kalkzementmörtel M 5 (alt = MG IIa) eingesetzt werden.

Eine Verbesserung des freiliegenden Mauerwerks durch Injektion ist aus meiner Sicht nicht erforderlich, da bisher keine ausgesprochenen Hohlräume festgestellt wurden und das neue Hinterfüllmauerwerk hohlraumfrei eingebracht wird. Allerdings ist eine Hinterfüllung der noch vorhandenen, teilweise abgelösten Vorsatzschale zu empfehlen, vor allem wenn sie im Bereich des Deichanschlusses liegen sollte. Dafür ist ein Injektionsschaummörtel (= porosierter Zementleim) besonders geeignet.

Eine Sanierung der gesamten Bastionsmauer ist aus meiner Sicht für ein alle 10 Jahre zu erwartendes Hochwasser zu aufwendig. Sollte später durch stärkeren Klimawandel öfters Hochwasser eintreten, kann eine Verblendung immer noch nachgeholt werden.

Dipl.-Ing. I. Mielke

