

# GUTACHTEN

**Betr.:** **Alter Leuchtturm, Insel Neuwerk**

Begutachtung des Zustandes der Fassaden  
sowie Erarbeitung von Instandsetzungsvorschlägen

**Auftraggeber:** Freie und Hansestadt Hamburg  
Baubehörde - Hochbauamt  
H II D - Bautechnik  
Stadthausbrücke 8  
20355 Hamburg

**Datum des Gutachtens:** 10. Februar 1995

## INHALTSVERZEICHNIS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | VORBEMERKUNGEN   | 1  |
| 2     | VISUELLE ZUSTANDSAUFNAHME  | 7  |
| 2.1   | SÜDFASSADE   | 7  |
| 2.2   | WESTFASSADE  | 9  |
| 2.3   | NORDFASSADE  | 10 |
| 2.4   | OSTFASSADE   | 11 |
| 2.5   | STREBEPFEILER  | 12 |
| 2.6   | SONSTIGE FESTSTELLUNGEN  | 12 |
| 3     | BAUPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN  | 13 |
| 3.1   | ÜBERPRÜFUNG DES VERBUNDES ZWISCHEN VORMAUERSCHALE UND<br>HINTERMAUERWERK | 13 |
| 3.2   | MESSUNG DER SCHLAGREGENDICHTIGKEIT                                       | 14 |
| 3.3   | ERMITTLUNG DER MECH. EIGENSCHAFTEN DER VERFUGUNG                         | 17 |
| 3.4   | UNTERSUCHUNG DER FROSTBESTÄNDIGKEIT                                      | 19 |
| 3.5   | ANALYSE DER SALZGEHALTE  | 21 |
| 3.5.1 | QUALITATIVE ANALYSE DER ZUSAMMENSETZUNG                                  | 21 |
| 3.5.2 | QUANTITATIVE BESTIMMUNG  | 21 |
| 3.6   | BEMERKUNGEN ZU DEN RISSBILDUNGEN   | 23 |

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4   | ZUSAMMENFASSUNG UND WERTUNG DER ERGEBNISSE / VORSCHLÄGE FÜR<br>INSTANDSETZUNGSMAßNAHMEN | 24 |
| 4.1 | REINIGUNG DER FASSADENFLÄCHEN   | 26 |
| 4.2 | AUSRÄUMEN DER FUGEN UND NEUVERFUGUNG  | 27 |
| 4.3 | AUSWECHSELN GESCHÄDIGTER STEINE   | 29 |
| 4.4 | INSTANDSETZUNG DES MAUERWERKS IN RIßBEREICHEN   | 32 |
| 4.5 | INSTANDSETZUNG DER STREBEPFEILER AN DER SÜDFASSADE                                      | 33 |
| 5   | SONSTIGES   | 34 |
|     | LITERATURVERZEICHNIS  | 35 |
|     | ANHANG (BILDER UND PLANUNTERLAGEN)  |    |

## 1 VORBEMERKUNGEN

Das vorliegende Gutachten umfaßt die Beurteilung des Zustands der Fassaden und die Erarbeitung von Instandsetzungsvorschlägen für den alten Leuchtturm auf der Nordseeinsel Neuwerk.

Die Insel Neuwerk liegt ca. 11 km nordwestlich vor der Küste von Cuxhaven im Hamburgischen Wattenmeer. Sie war ehemals eine Düneninsel, die landeinwärts wanderte und im ruhigeren Wasser des Hochwatts allmählich zum Stillstand kam. Diese im Winter oft überschwemmte Insel war damals nicht bewohnbar. Im Jahr 1276 brachte Hamburg die Insel in seinen Besitz und erbaute zwischen 1301 und 1310 einen mächtigen Wehrturm zum Schutz des Handelsweges nach Hamburg.



Bild 1: Blick vom Turm auf die Insel Neuwerk und das Wattenmeer

Für den Turmbau wurden riesige Findlinge und zahllose Backsteine zur Insel verschifft.

Auch heute noch ruht der Turm auf einem Fundament aus Felsblöcken, das sich über drei Meter tief in den Boden erstreckt. Darunter befindet sich ein doppelter Schwellrost aus 30 auf 30 cm starken Balken, die kreuzweise übereinander gelegt sind.

1644 wurde die gefährliche Elbeeinfahrt durch ein offenes Kohlenfeuer auf Neuwerk für die Schiffe sicherer gemacht. Heute trägt der Turm ein Leuchtfeuer für die Elbschifffahrt.

Mit der Eindeichung der Insel wurde 1556 begonnen, so daß eine dauerhafte Besiedlung möglich wurde. Der Wehrturm bekam einen eigenen Deich und konnte so bei schweren Sturmfluten als Fluchtburg benutzt werden. Die heutige Form der Insel entstand 1825.

Das Bild der Insel wird beherrscht von dem mächtigen Leuchtturm mit seinen fast 30 m hohen Mauern. Der quadratische Grundriß hat eine Kantenlänge von 13,50 m. Die Außenwände sind am Sockel 2,80 m dick und verjüngen sich nach oben auf 2,00 m. Sie werden nur durch die Fensteröffnungen gegliedert. Dabei fällt auf, daß sämtliche Fenster der Herrenetage und auch einige der darunterliegenden Wirtschaftsstockwerke mit romanischen Rundbogen verziert und wesentlich größer sind als die schmalen, rechteckigen in den unteren Geschossen. Oberhalb der Mauern erhebt sich ein steil aufstrebendes Zeltdach zu 7 m Höhe, das mit Kupfer verkleidet ist.

Insgesamt mißt der Turm eine Höhe von etwa 45 m. In ca. 30 m Höhe befindet sich eine Aussichtsplattform, die in den Sommermonaten von bis zu 700 Besuchern pro Tag erklommen wird. Zu diesem Zweck wurde in den 60er Jahren an der Nordfassade ein Treppenhaus angebaut. Der schmale Vorbau ist ungefähr zur Hälfte gemauert, der obere Abschnitt ist dreiseitig verglast.

Die ersten beiden Obergeschosse des Turms enthalten die Wohn- und Wirtschaftsräume des Turmwartes. Die darüber gelegene "Herrenetage" wird heute für Gäste des Hamburger Senats zur Verfügung gehalten.

Im Rahmen des Gutachtens werden die Fassaden des alten Turms auf Schäden überprüft und an ausgewählten Stellen bauphysikalischen Untersuchungen unterzogen. Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse werden Empfehlungen für Art und Umfang von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen unterbreitet.

Die nachstehenden Bilder geben einen Überblick über das zu untersuchende Objekt.

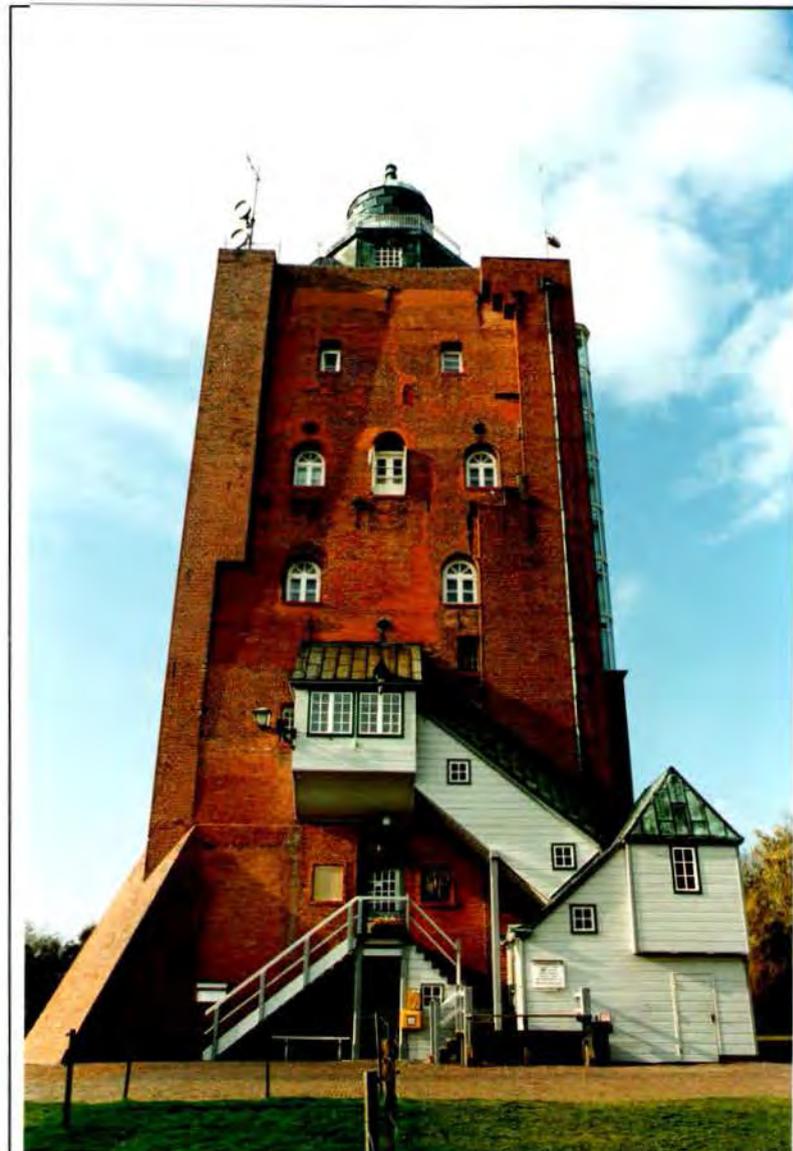


Bild 2: Ostansicht des Turms mit Eingangsbereich



Bild 3: Südfassade



Bild 4: Westfassade



Bild 5: Nordfassade mit vorgebautem Treppenhaus

2001 49,97  
2002 69,20  
7

## 2 VISUELLE ZUSTANDSAUFNAHME

In diesem Kapitel wird der Umfang von Mängeln und Schäden an den Außenbauteilen des Leuchtturms zusammengefaßt und exemplarisch fotografisch dokumentiert. Da der Schädigungsgrad der Fassaden u. a. von der Himmelsrichtung abhängig ist, wird die visuelle Zustandsaufnahme im folgenden für die einzelnen Fassaden getrennt aufgeführt.

Auffallend an allen Fassaden sind die vielen ausgebesserten Stellen im Mauerwerk, die - wie in den Vorbemerkungen angesprochen - auf die lange Geschichte des alten Leuchtturms und zahlreiche Sanierungsarbeiten zurückgehen.

In den im Anschluß an den Textteil des Gutachtens enthaltenen Plänen ist der aufgrund der visuellen Untersuchung festgestellte Zustand der Bausubstanz im Detail dargestellt.

### 2.1 SÜDFASSADE

Diese Fassade ist geprägt durch einen langen vertikalen Riß, der sich über die volle Gebäudehöhe erstreckt. Er markiert zugleich den Übergang zwischen neuem und altem Mauerwerk (Bild 6). Auf der linken Seite der Fassade ist ein knapp 3 m breiter Streifen vor ungefähr zehn Jahren neu gemauert worden. Dazu wurden hellrote Ziegel mit dem Format 215 x 55 x 105 mm verwendet. Das grobkörnige Fugennetz ist geschädigt durch Flankenabrisse und Fehlstellen (Bild 7). Der Fugenmörtel ist von lockerer Konsistenz.

Die Ziegel sind intakt bis auf einen etwa einen Quadratmeter großen Bereich im unteren Fassadenabschnitt, der Abplatzungen der Brennhaut und leichte Ausblühungen aufweist (Bild 8). Ungefähr auf mittlerer Gebäudehöhe sind Ausblühungen sichtbar (Bild 9), die auf stärkere Wasseraufnahme in den darüberliegenden Bereichen hindeuten.

Der Fassadenbereich rechts des Risses kann in drei Teile gegliedert werden. Im unteren Drittel befindet sich altes Mauerwerk (Format 210 x 50 x 100 mm), das

starke Ausblühungen und Schäden sowohl der Ziegel als auch des Fugennetzes aufweist (Bild 10). Die oberste Steinschicht von mehreren Millimetern Dicke und Teile des Fugenmörtels sind abgesprengt worden und fallen bei Berührung herab (Bild 11). Dabei handelt es sich um zusammenhängende Flächen, in denen sich die Mauerwerksoberfläche löst (Bild 12). Dahinter sind ebenso Ausblühungen und auskristallisierte Salze zu erkennen (Bild 13).

Im mittleren Drittel der Fassade sind deutlich weniger Schäden zu erkennen. Hier fallen die vertikalen Risse, die über die ganze Fassade verteilt sind, besonders auf, ebenso die starke Verschmutzung des Mauerwerks unterhalb der Eisenanker (Bild 14).

Im oberen Drittel der Südseite sind andere Steine vermauert worden, die auch schon älter sind. Neben den vertikalen Rissen wird das Mauerwerk auch von einigen horizontalen Rissen, hauptsächlich in den Fugen, durchzogen (Bild 15). Die Ziegel sind gekennzeichnet durch Abplatzungen der Brennhaut, Ausblühungen und den Befall von Mikroorganismen (Bild 16). Das Fugennetz weist neben Querrissen auch Flankenablösungen und herausgefallenen Bruchstücke auf (Bild 17).

Weitere Schwachstellen dieser Fassade sind die Bereiche rund um die Fenster. Fensterbänke, -laibungen und -stürze sind stark durchfeuchtet (Bild 18, 19). Das dürfte auf die Risse im Mauerwerk oberhalb der Fenster und im Sturz zurückgehen (Bild 20). Gerade in diesen Bereichen sind Ziegel mit massiven Verwitterungserscheinungen anzutreffen (Bild 21).

Die Durchfeuchtungen der Fensternischen sind auch im Innern deutlich sichtbar, trotz einer vor kurzem erfolgten Renovierung.

## 2.2 WESTFASSADE

Die Ansicht der Wetterseite des Leuchtturms<sup>1984</sup> wird geprägt durch das überwiegend noch vorhandene alte Mauerwerk. 1992 wurde ein etwa ein Meter breiter Streifen unterhalb der Attika und im linken oberen Bereich der Fassade erneuert. Das neue Mauerwerk reflektiert einen guten Eindruck mit Ausnahme leichter Flankenlösungen des Fugenmörtels (Bild 22).

Das übrige, ältere Mauerwerk weist hingegen zahlreiche Schäden auf. Das Fugensystem ist spröde, bröckelig und von Rissen, Fehlstellen und Flankenabtrennungen durchzogen (Bild 23). Die Ziegel leiden unter Ausblühungen und Abplatzungen der Brennhaut (Bild 24). Die Ecken und Kanten der Steine sind uneben und abgewittert. Desweiteren ist auf der gesamten Fassade, besonders aber im linken unteren Abschnitt Moosbewuchs vorzufinden (Bild 25). In diesem Bereich sind auch die Oberflächen der Ziegel stark ausgewaschen und durch kraterförmige Löcher geschädigt (Bild 26, 27).

Stellenweise wurde das Mauerwerk der Westfassade ausgebessert, teilweise so unfachmännisch wie Bild 28 zeigt. l

Auch die Westseite ist von vertikalen Rissen durchzogen, hauptsächlich im unteren Bereich bis zur dritten Fensterebene. Die Risse verlaufen in den Fugen und durch die Steinoberflächen, dringen aber nicht tiefer ins Mauerwerk ein.

Die Fassadenflächen über den Fenstern sind besonders durch Risse und Fehlstellen der Fugen geschädigt (Bild 29), so daß es zu Durchfeuchtungen der Fenster umgebenden Bauteile kommt.

Auf der rechten Seite der Fassade befindet sich ein Regenfallrohr aus Kupfer, das korrodiert ist. Die Eisenanker sind schwarz angelauten und die Mauerwerksflächen darunter sind durch herablaufendes Wasser verschmutzt (Bild 30).

### 2.3 NORDFASSADE

In den 50er Jahren wurde in der Mitte der Nordfassade ein schmales Treppenhaus mit einer Stahlwendeltreppe angebaut. Ab mittlerer Gebäudehöhe ist die Außenwand des Treppenhauses verglast.

Rechts davon befindet sich im oberen Bereich neueres Mauerwerk, das intakt ist, aber nicht zum historischen Material paßt (Bild 31). Am Übergang zum alten Mauerwerk werden Schäden in Form von Rissen deutlich (Bild 32). Das alte Mauerwerk ist stark durch Abplatzungen der Oberflächen und Ausblühungen geschädigt (Bild 33). Ähnlich der Südfassade lassen sich Ziegelbruchstücke von einigen Millimetern leicht per Hand entfernen (Bild 34). Auch das Fugensystem ist geschädigt durch Löcher, Ausblühungen und den Befall von Mikroorganismen (Bild 35).

Im unteren Bereich der Nordfassade sind die Schäden weniger stark ausgeprägt (Bild 36).

Seitlich neben dem Treppenhausanbau verlaufen beiderseits vertikale meterlange Risse. In der linken Fassadenhälfte ist unterhalb des untersten Fensters ebenfalls ein längerer Riß zu erkennen (Bild 37). Diese Risse verlaufen nur in den obersten Zentimetern der Fassade.

## 2.4 OSTFASSADE

Auf der Ostfassade befindet sich der hölzerne Treppenvorbau, über den man einerseits die "Turmschenke", andererseits die oberen Geschosse des Turms mit Wohnungen und Aussichtsplattform erreichen kann.

Das Mauerwerk dieser Seite mußte mehrfach ausgebessert und ersetzt werden. Daher bietet sich ein sehr uneinheitliches Bild beim Anblick der Fassade.

Am Übergang zum Strebepfeiler treten Ausblühungen zu Tage (Bild 40). Darüber befindet sich ein etwa drei Quadratmeter großer Bereich neueren Mauerwerks. Die Fugen sind visuell intakt, die Steinoberfläche wird durch kleine Risse und Löcher getrübt, die jedoch wohl auf die Herstellung der Ziegel zurückzuführen sind (Bild 41).

Weiter oben ist noch altes Mauerwerk vorhanden, das starke Schäden aufweist. Die vordersten Schichten der Ziegel platzen ab (Bild 42). Die Steine sind ebenso wie das Fugennetz von Rissen und kleinen Löchern durchzogen. Ferner kommt es zu Flankenablösungen (Bild 43).

Darüber befindet sich wieder neueres Mauerwerk, das bis auf kleinere Fugenschäden intakt ist.

Im übrigen Fassadenbereich gibt es immer wieder ausgebesserte Stellen. Für das alte Mauerwerk kann ausgesagt werden, daß die Ziegel durch Verwitterungserscheinungen zwar geschädigt, gemessen am Alter aber in einem befriedigenden Zustand sind (Bild 44). Das Fugensystem ist stark von Querrissen gezeichnet, sandet ab und ist teilweise erneuert worden (Bild 45). Im oberen Fassadenabschnitt kommt es vermehrt zu Horizontalrissen in den Fugen (Bild 46). In der oberen linken Ecke ist das Fugennetz vollständig zerstört (Bild 47).

Vor allem auf der linken Fassadenseite und am Anschluß des Strebepfeilers verlaufen vertikale Risse.

Seitlich neben dem Eingang zur "Turmschenke" befinden sich zwei Tafeln aus Naturstein. Während die linke Tafel mit einer Inschrift vor kurzem erneuert wurde, weist die rechte Tafel mit dem Wappen der Stadt Hamburg starke Verwitterungserscheinungen auf (Bild 48).

## 2.5 STREBEPFEILER

An den südöstlichen und südwestlichen Gebäudeecken wird der Turm von zwei Strebepfeiler gestützt.

Diese Pfeiler weisen sowohl an ihren Anschlüssen an das Mauerwerk der Fassaden, als auch auf ihren Oberflächen zahlreiche Risse auf (Bild 49, 50). Besonders der Südwest-Pfeiler ist von tiefen Rissen mit Rißweiten bis 5 mm durchzogen (Bild 51). Ferner ist das Mauerwerk durch Abplatzungen und Ausblühungen stark geschädigt (Bild 52).

## 2.6 SONSTIGE FESTSTELLUNGEN

Auf allen Fassaden weisen die Flügel- und Blendrahmen einiger Fenster mittlere bis starke Schädigungen auf. Die Farbe blättert großflächig ab und die Dichtungsmasse ist spröde und teilweise herausgefallen (Bild 53).

Wie bereits erwähnt, sind die fensterumgebenden Bauteile stark durchfeuchtet. Diese Feuchteschäden sind auch innen in den Fensternischen sichtbar (Bild 54, 55). Im angebauten Treppenhaus auf der Nordseite kommt es an der Innenwand zu starken Ausblühungen und Auskristallisation der Salze (Bild 56).

Die eisernen Gebäudeanker sind schwarz angelauten und weisen mittlere bis starke Korrosionsschäden auf (Bild 57, 58). Das gleiche gilt für die Fenstergitter (Bild 59).

Das Kellermauerwerk im Heizungsraum ist stark durchfeuchtet und von Ausblühungen befallen. Teilweise hat sich Schimmel gebildet und die Salze sind in kristalliner Form vorhanden. Dadurch sind Teile der Steinoberflächen abgesprengt worden. Die Schäden ziehen sich hinauf bis in die Gewölbedecke (Bild 60, 61).

### 3 BAUPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

#### 3.1 ÜBERPRÜFUNG DES VERBUNDES DER MAUERSCHALEN

Um die notwendigen bauphysikalischen Untersuchungen repräsentativ für das gesamte Gebäude durchführen zu können, wurden vier Gerüststreifen über die volle Gebäudehöhe an den unterschiedlichen Fassaden errichtet. Durch systematisches Abklopfen des Mauerwerks in den, vor allem durch die Gerüste, zugänglichen Bereichen wurde der Verbund der Vormauerschale mit dem Hintermauerwerk der Außenwand überprüft. Dabei konnten vor allem an dem Mauerwerk neueren Datums einige Hohllagen festgestellt werden. Auf der Südseite liegt der gesamte Rißbereich hohl. Bei der Öffnung des Mauerwerks an dieser Stelle wurde der Grund für den Riß und den mangelnden Verbund deutlich. Bei der Erneuerung des Mauerwerks im linken Fassadenabschnitt wurde der Übergang zum alten Mauerwerk nicht fachgerecht ausgeführt. D. h. es wurde kein sauberer Übergang mit einer Verzahnung geschaffen, sondern die neuen Steine wurden zurecht geklopft und vor die alten Ziegel gesetzt. Die Bilder 62, 63 und 64 zeigen den Übergang zwischen altem und neuem Mauerwerk, an dem über die gesamte Gebäudehöhe ein Riß verläuft. Dabei ist zu erkennen, daß der neue Ziegel keilförmig ausgebildet ist und die Zwischenräume mit reichlich Mörtel ausgefüllt wurden.



Bild 62: Rißbereich auf der Südfassade

### 3.2 MESSUNG DER SCHLAGREGENDICHTIGKEIT

Um Aufschluß über das Verhalten des Verblendmauerwerks bei der Einwirkung von Schlagregen zu erhalten, wurden an repräsentativ ausgewählten Bereichen einiger Fassadenabschnitte Wasseraufnahmeversuche durchgeführt. Dabei wurde zur Bestimmung der Wasseraufnahme der Ziegel das Prüfröhrchen nach Karsten und die WD-Prüfplatte zur Messung der integralen Wasseraufnahme der Steine und der Fugen verwendet. Die Prüfplatte (WP) überdeckt eine Fläche mit den Abmessungen eines Normalformatziegels einschließlich des zugehörigen Fugenteils. Bei einer Messung wird die Platte so angeordnet, daß die Fuge in der Mitte verläuft. Bei einer konstant gehaltenen Wasserfüllhöhe von 5 cm in einem Standrohr wird in einem Zeitraum von 15 Minuten die Wasseraufnahme gemessen. Das zur Konstanthaltung der Füllhöhe nachzufüllende Wasser ist ein Maß für die Wasseraufnahme der Fassade bei Schlagregen.

Je Prüfplattentest wurde parallel eine Untersuchung mit dem Karstenschen Prüfröhrchen (KR) durchgeführt. Dabei wurde nach Eindringen von 1 ml Wasser wieder auf die Nullmarke aufgefüllt, um den Einfluß des äußeren Druckes auszugleichen. Die parallele Anwendung beider Verfahren ermöglicht es, sowohl über das Verhalten der Steine als auch über das Fugennetz Aussagen zu treffen.

Für die Messungen wurden exemplarisch Flächen an den einzelnen Fassaden mit unterschiedlichem Schädigungsgrad ausgewählt. Die einzelnen Meßpunkte sind in den beigegeführten Ansichtsplänen markiert. In den folgenden Tabellen sind die vor Ort ermittelten Werte zusammengefaßt.

#### Südfassade

| Meßstelle                         | Nummer | Wasseraufnahme in [ml] nach |       |        |        |
|-----------------------------------|--------|-----------------------------|-------|--------|--------|
|                                   |        | 1 min                       | 5 min | 10 min | 15 min |
| unten, neues MW<br>visuell intakt | WP 1   | 8                           | 21    | 35     | 56     |
|                                   | KR 1   | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |
| unten, altes MW<br>geschädigt     | WP 2   | 25                          | 97    | 204    | 280    |
|                                   | KR 2   | 0,2                         | 1,4   | 2,4    | 3,4    |
| Mitte, altes MW<br>geschädigt     | WP 3   | 6                           | 17    | 27     | 39     |
|                                   | KR 3   | 0,0                         | 0,1   | 0,1    | 0,14   |
| oben, neues MW<br>visuell intakt  | WP 4   | 45                          | 97    | 191    | 260    |
|                                   | KR 4   | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |

Tabelle 1: Wasseraufnahmewerte des Mauerwerks auf der Südfassade

Westfassade

| Meßstelle                          | Nummer | Wasseraufnahme in [ml] nach |       |        |        |
|------------------------------------|--------|-----------------------------|-------|--------|--------|
|                                    |        | 1 min                       | 5 min | 10 min | 15 min |
| unten rechts<br>intakter Stein     | WP 5   | 17                          | 32    | 45     | 63     |
|                                    | KR 5   | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |
| unten links<br>geschädigter Ziegel | WP 6   | 2                           | 6     | 10     | 15     |
|                                    | KR 6a  | 0,0                         | 0,1   | 0,2    | 0,3    |
| neuer Ziegel                       | KR 6b  | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |

Tabelle 2: Wasseraufnahmewerte des Mauerwerks auf der Westfassade

Ostfassade

| Meßstelle         | Nummer | Wasseraufnahme in [ml] nach |       |        |        |
|-------------------|--------|-----------------------------|-------|--------|--------|
|                   |        | 1 min                       | 5 min | 10 min | 15 min |
| unten<br>altes MW | WP 7   | 23                          | 80    | 130    | 162    |
|                   | KR 7   | 0,3                         | 1,2   | 2,2    | 2,7    |
| Mitte<br>neues MW | WP 8   | 10                          | 16    | 34     | 58     |
|                   | KR 8   | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |
| oben<br>neues MW  | WP 9   | 3                           | 10    | 20     | 32     |
|                   | KR 9   | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |

Tabelle 3: Wasseraufnahmewerte des Mauerwerks auf der Ostfassade

Nordfassade

| Meßstelle                   | Nummer | Wasseraufnahme in [ml] nach |       |        |        |
|-----------------------------|--------|-----------------------------|-------|--------|--------|
|                             |        | 1 min                       | 5 min | 10 min | 15 min |
| unten<br>geschädigter Stein | WP 10  | 2                           | 12    | 27     | 40     |
|                             | KR 10a | 0,1                         | 0,1   | 0,1    | 0,1    |
| rel ungeschädigt. Stein     | KR 10b | 0,1                         | 0,1   | 0,1    | 0,1    |
| Mitte<br>visuell intakt     | WP 11  | 4                           | 8     | 12     | 16     |
|                             | KR 11  | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |
| oben<br>intakter Stein      | WP 12  | 0                           | 0     | 2      | 3      |
|                             | KR 12a | 0,0                         | 0,0   | 0,0    | 0,0    |
| geschädigter Stein          | KR 12b | 0,0                         | 0,1   | 0,2    | 0,25   |

Tabelle 4: Wasseraufnahmewerte des Mauerwerks auf der Nordfassade

Als Maßstab für die Beurteilung der Wasseraufnahme der Fassaden gelten die Wasseraufnahmewerte von intaktem fehlerstellenfreiem Sichtmauerwerk. Nach [1] ergibt sich für ein Mauerwerk aus dichten Klinkern eine Wasseraufnahme von bis zu 30 ml. Da die Wasseraufnahme der Steine zumindest an den Meßstellen gleich null war, sind die Steine im Hinblick auf die Wasseraufnahme als dichte Klinker einzustufen.

Mit Hilfe dieser Einteilung läßt sich für die West- und Nordfassade aussagen, daß das Mauerwerk in nicht gerissenen Bereichen eine vergleichsweise gute Schlagregendichtigkeit aufweist. In gerissenen Abschnitten ist hingegen die Wasseraufnahme hoch.

Auf der Süd- und Ostfassade muß nach Art des Mauerwerks unterschieden werden. Das neuere Mauerwerk der Ostfassade ist intakt, bei dem älteren Mauerwerk ist die Aufnahme über die Fugen erhöht.

Noch deutlicher wird dies an der Südfassade. Vor allem im unteren Fassadenbereich ist das alte Mauerwerk sehr schlecht. Hier liegt eine erhöhte Wasseraufnahme sowohl über die Fugen als auch durch die Ziegel vor. Das neuere Mauerwerk ist auch hier besser. Die Wasseraufnahme geht allein über die Fugen, was mit steigender Gebäudehöhe zunimmt.

Daß die Wasseraufnahme über die - auch visuell geschädigten - Fugen vergleichsweise gering ist, ist mit einer hohen Dichtigkeit des Mauermörtels zu erklären.

Insgesamt ist die Wasseraufnahme über die Ziegel, mit Ausnahme der unteren Südfassade, zufriedenstellend. Teilweise weist das Fugennetz erhöhte Aufnahmen auf, insbesondere an Fensterlaibungen und Stürzen.

### 3.3 ERMITTLUNG DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN DER VERFUGUNG

Zur Überprüfung der mechanischen Eigenschaften der Verfugung wurde exemplarisch an den Gebäuden die Verfugungsmörtelfestigkeit zerstörungsfrei bestimmt. Diese Kennwerte sollen zum einen Hinweise geben auf den aktuellen Zustand der Verfugung hinsichtlich der Festigkeit und des Verwitterungszustands und zum anderen auf die Art des zu verwendenden Fugenmörtels im Falle von evtl. auszuführenden Fugeninstandsetzungen.

Die Messung erfolgte mit dem Schmidtschen Hammer der Firma E.O. Schmidt, Basel, der speziell für die indirekte Bestimmung der Fugenmörtelfestigkeit konzipiert wurde. Hierbei wird die Rückprallenergie eines Pendels ermittelt.

Zur Kennzeichnung der Fugenfestigkeit wurden an den einzelnen Fassaden jeweils 20 Rückprallwerte gemessen. Der Rückprall-Mittelwert ist ein Maß für die aktuelle Festigkeit des Fugenmörtels. Auf der Basis der Ergebnisse von Referenzmessungen kann eine Einordnung in Mörtelgruppen nach DIN 1053 vorgenommen werden.

Für Fugenmörtel mit Werten oberhalb von 45 Skalenteilen (Skt.) kann ausgesagt werden, daß mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit Festigkeiten von mindestens  $10 \text{ N/mm}^2$  vorliegen. Somit können diese Mörtel der Mörtelgruppe III nach DIN 1053 zugeordnet werden. Mörtel mit Werten über 40 Skt. können dagegen wie Mörtel der Mörtelgruppe II a und Mörtel mit Werten  $> 35$  Skt. wie Mörtel der Mörtelgruppe II behandelt werden.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der gemessenen mittleren Rückprallwerte und die Einordnung in die entsprechende Mörtelgruppe nach DIN 1053 auf der Basis deren Mindestfestigkeitsanforderungen.

| Fassade                 | Rückprallwert<br>[Skt.] | Mörtelgruppe<br>(n. DIN 1053) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| <u>Südfassade:</u>      |                         |                               |
| unten rechts (altes MW) | 68                      | III                           |
| unten links (neues MW)  | 40                      | II                            |
| Mitte (altes MW)        | 69                      | III                           |
| oben (neues MW)         | 47                      | III                           |
| oben (altes MW)         | 70                      | III                           |

|                     |    |     |
|---------------------|----|-----|
| <u>Westfassade:</u> |    |     |
| unten links         | 43 | IIa |
| unten rechts        | 56 | III |
| unten ganz links    | 57 | III |
| Mitte               | 47 | III |
| <u>Nordfassade:</u> |    |     |
| unten rechts        | 48 | III |
| unten Mitte         | 58 | III |
| unten links         | 70 | III |
| Mitte               | 54 | III |
| Mitte               | 67 | III |
| oben                | 57 | III |
| <u>Ostfassade:</u>  |    |     |
| unten (altes MW)    | 71 | III |
| unten (neues MW)    | 59 | III |
| Mitte (neues MW)    | 44 | IIa |
| Mitte (altes MW)    | 65 | III |
| oben links          | 77 | III |

Tabelle 5: Fugenmörtelfestigkeiten und Mörtelgruppen

Die obigen Festigkeitswerte sind Mittelwerte aus mindestens 20 Einzelmessungen. Trotz des visuell eher schlechten Eindrucks weisen die Fugenmörtel überwiegend hohe Festigkeiten auf.

### 3.4 UNTERSUCHUNG DER FROSTBESTÄNDIGKEIT

Vor einer Instandsetzung geschädigter Mauerwerksfassaden ist zu überprüfen, ob die angetroffenen Schäden auf mangelnde Frostbeständigkeit zurückzuführen sind. Eine Beurteilung des Frostverhaltens des verwendeten Ziegelmaterials (Vormauerziegel) wurde mit Hilfe der Quecksilberdruckporosimetrie vorgenommen. Nach diesem Verfahren kann der Grad der Frostempfindlichkeit von Ziegeln anhand der Porensummenlinie festgestellt werden. Auf der Basis des Mittelwertes von drei Einzelergebnissen kann ein Material nach [2] als frostwiderstandsfähig eingestuft werden, wenn der mittlere Porenradius  $r_{50\%} > 1,0 \mu\text{m}$  und die Einzelwerte  $0,65 \mu\text{m}$  übersteigen. Liegt nur der Wert eines mittleren Porenradius vor, so muß dieser größer als  $1,65 \mu\text{m}$  sein.

Im Fall des Leuchtturms wurde das Ziegelmaterial der Südfassade und des Strebepfeilers an der südwestlichen Gebäudeecke untersucht, da hier große Schädigungen vorhanden sind. Die Ziegel im unteren Bereich der Südfassade sind durch starke Abplatzungen geschädigt und die Strebepfeiler sind von tiefen Rissen durchzogen. Aufgrund der Vielfalt des am gesamten Turm vermauerten Ziegelmaterials können nicht alle unterschiedlichen Materialien auf Frostbeständigkeit untersucht werden.

Es wurden drei Bohrkerne mit einem Durchmesser von 30 mm aus dem Strebepfeiler entnommen (BK 1 - 3) und zwei Bohrkerne (BK 3, 4) und ein Ziegel (Z 1) aus der Südfassade.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

| Probenbezeichnung | mittlerer Porenradius<br>$r_{50\%}$ in [ $\mu\text{m}$ ] | Einstufung            |
|-------------------|--|-----------------------|
| Strebpfeiler:     |  |                       |
| BK 1              | 6,37   |                       |
| BK 2              | 1,94   |                       |
| BK 3              | 0,94   |                       |
| Mittelwert        | 3,08   | frostwiderstandsfähig |

Tabelle 6: Frostverhalten der Ziegel der Strebepfeiler

| Probenbezeichnung   | mittlerer Porenradius<br>$r_{50\%}$ in [ $\mu\text{m}$ ] | Einstufung            |
|---------------------|--|-----------------------|
| Südfassade:<br>BK 4 | 1,06   |                       |
| BK 5                | 0,86   |                       |
| Z 1                 | 1,92   |                       |
| Mittelwert          | 1,28   | frostwiderstandsfähig |

Tabelle 7: Frostverhalten des Mauerwerks auf der Südfassade

Aufgrund der Laborergebnisse kann ausgesagt werden, daß die an diesen Stellen verwendeten Ziegel eindeutig frostbeständig sind. Somit können die angetroffenen Schäden nicht auf Frost zurückgeführt werden, sondern müssen andere Ursachen besitzen.

### 3.5 ANALYSE DER SALZGEHALTE

#### 3.5.1 QUALITATIVE ANALYSE DER ZUSAMMENSETZUNG

Die qualitative Analyse mittels Infrarotspektroskopie ergab, daß die Ziegel Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) als bauschädliches Salz enthalten.

#### 3.5.2 QUANTITATIVE BESTIMMUNG

Da eine Salzanreicherung unter der Brennhaut das Austrocknen der Steine massiv behindern und zu schalenförmigen Abplatzungen führen kann, ist eine Analyse der Salzgehalte notwendig. Für die Untersuchungen wurden die beiden Bohrkern aus der Südfassade herangezogen und zusätzlich Ziegel aus der Nordfassade entnommen. Diese Proben wurden im Labor quantitativ auf ihren Anionengehalt geprüft. Aus einem wäßrigen Auszug wurde der Sulfat-, Chlorid- und Nitratgehalt mittels Photometrie bestimmt.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Ergebnis zusammengefaßt.

| Proben-<br>bezeichnung | Tiefe<br>in [mm] | Salzgehalt in [Gew.-%] |               |                 |
|------------------------|------------------|------------------------|---------------|-----------------|
|                        |                  | $\text{SO}_4^{2-}$     | $\text{Cl}^-$ | $\text{NO}_3^-$ |
| Südfassade:            |                  |                        |               |                 |
| BK 4 VV                | 0 - 4            | 2,80                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 4 V                 | 4 - 12           | 0,13                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 4 M                 | 53 - 58,5        | 0,11                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 4 H                 | 103 - 108,5      | 0,15                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 5 VV                | 0 - 3            | 1,15                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 5 V                 | 5 - 8            | 0,05                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 5 M                 | 96 - 101         | 0,06                   | < 0,05        | < 0,05          |
| BK 5 H                 | 174 - 180        | 0,06                   | < 0,05        | < 0,05          |

|              |        |        |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Nordfassade: |        |        |        |        |
| Ziegel VV    | 0 - 3  | 0,06   | < 0,05 | < 0,05 |
| Ziegel V     | 3 - 10 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| Fugenmörtel  | -      | 0,67   | 0,76   | 0,21   |

Tabelle 8: Salzgehalte der Ziegelproben

Die Meßergebnisse zeigen, daß Salze wie Nitrate oder Chloride nur in sehr geringem Umfang enthalten sind. Der Anteil von Sulfaten, als Gips wie die qualitative Analyse zeigte, hingegen ist auf der Südfassade hoch. Die Proben weisen nach [3] wesentlich erhöhte Konzentrationen von Gips in der obersten Schicht auf im Vergleich zum Meßwert VV.

Der Meßwert für den Stein BK 4 VV ergibt für die oberflächennahe Zone einen hohen mittleren Gipsgehalt von ca. 5 %, für den Stein BK 5 VV ca. 2.1 %, wobei der Gipsanteil über eine Umrechnung der Sulfationenanteile ermittelt wurde. Die tieferen Schichten enthalten nur geringe Sulfatanteile.

D. h. der Gips konzentriert sich erfahrungsgemäß unterhalb der Brennhaut. Einerseits wird hierdurch das Trocknungsverhalten verschlechtert, wird die Brennhaut bzw. Oberfläche durch die Kristallisationskräfte abgedrückt. Die schädigende Sprengwirkung der Gipsbildung in kalkhaltigen Baustoffen wird verursacht durch die, bei der Kristallisation eintretende, Volumenzunahme der an der Reaktion beteiligten Komponenten. Der hohe Kristallisationsdruck bei dem ständigen Wachstum der Gipskristallaggregate fördert die Gesteinzerstörung.

Zum einen können die hohen Gipsgehalte erklärt werden als das Produkt des Calcits des Mörtels bzw. des Ziegelmaterials mit den säurebildenden Schwefelverbindungen in Luft und Regen und zum anderen als Verlagerung der Gipsanteile des Verfugungsmörtels durch Lösung und kapillaren Wassertransport.

Im vorliegenden Fall ist an den Ziegeln der Südfassade bereits die Oberfläche von einigen Millimetern abgelöst. Teilweise ist diese oberste Schicht schon abgefallen, die übrigen Teile lösen sich bei Berührung. Die Salzanreicherung wird nun die nächste Schicht befallen, die zudem nicht durch eine Brennhaut geschützt ist. Im Laufe der Zeit wird so immer mehr des Ziegels schalenförmig abgelöst.

### 3.6 BEMERKUNGEN ZU DEN RISSBILDUNGEN

An den Fassaden wurden Mauerwerksrisse festgestellt, deren Entstehungsursachen unterschiedlich sind. Es handelt sich einerseits um Risse in den Randbereichen von neu gemauerten Fassadenabschnitten. In diesen Bereichen ist offensichtlich kein Verband der neuen Vormauerschale mit dem Hintermauerwerk hergestellt worden. Ebenso ist der Übergang zur alten Vormauerschale nicht fachgerecht ausgeführt worden. Das wurde in Kapitel 3.1 bereits dargestellt.

Zur Untersuchung der stark von Rissen durchzogenen Strebepfeiler wurden drei Bohrkerne entnommen. Dabei wurden an der südwestlichen Gebäudeecke zwei Bohrkerne im Rißbereich gezogen. Anhand der Kerne ließ sich die Rißtiefe zu 18 cm und 14 cm bestimmen. Daraus ist erkennbar, daß noch keine Spaltung der Strebepfeiler stattgefunden hat.

Daraus läßt sich schließen, daß die Risse nicht auf eine Überlastung der Fassaden aus statischer Sicht, sondern eher auf die unterschiedlichen Materialien von Vormauerschale und Hintermauerwerk im Zusammenhang mit der Witterungsbeanspruchung zurückzuführen sind.

Üblicherweise wird für die Vormauerschale ein härteres Steinmaterial verwendet, was zur Folge hat, daß das Verformungsverhalten unterschiedlich ist. Durch unterschiedliche Temperaturbeanspruchung der beiden Schalen können Risse auftreten. Durch die Risse kann Wasser eindringen und bei Frost-Tau-Wechseln eine Vergrößerung der Risse stattfinden.

#### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND WERTUNG DER ERGEBNISSE / VORSCHLÄGE FÜR INSTANDSETZUNGSMAßNAHMEN

Die örtlichen und labortechnischen Untersuchungen der Fassaden des Neuwerker Leuchtturms ergaben zusammenfassend folgende Ergebnisse.

Zumindest in Teilbereichen befindet sich das Backsteinmauerwerk in sehr unbefriedigendem Zustand.

Bei einer Bewertung der Beschaffenheit des Steinmaterials der historischen Fassaden wird davon ausgegangen, daß eine gewisse Abwitterung des Steinmaterials (oberflächige Abmehlungen, Kantenabrundungen) als historisch bedingte Alterungserscheinungen betrachtet werden und das so betroffene Steinmaterial nicht ausgewechselt werden sollte. Beispiele hierfür sollen die Bilder 27, 29, 35, 36, 39, 40 sowie 43 bis 46 geben.

Dagegen müssen Steine mit starken Abplatzungen oder potentiellen Trennebenen erneuert werden. Beispiele hierfür sind in den Bildern 10 bis 13, 33 und 34, 38 und 50a gegeben.

Demzufolge sind an der West-, Nord- und Ostfassade hauptsächlich nur einzelne Steine auszuwechseln.

Dagegen ergibt sich an dem unteren Teil der Südfassade ein zusammenhängender großer Bereich, in dem das Steinmaterial so stark geschädigt ist (vgl. Bilder 10 bis 13), daß dort eine komplette Erneuerung der Vormauerschale notwendig wird.

Die Frostbeständigkeitsuntersuchungen ergeben, daß die Ursache der Schäden nicht in mangelnder Frostbeständigkeit des anstehenden Steinmaterials zu suchen ist. Die Steinschäden insbesondere an dieser Fassade werden vielmehr hervorgerufen durch Salzeinwirkung bzw. Gipsbildung, die aus bauphysikalischen und bauchemischen Gründen zu den starken Steinschäden führt.

Die Auswahl der Steine für diese Instandsetzungsarbeiten sollte aber sehr sorgfältig vorgenommen werden und zwar im Hinblick auf Format, Farbe, Porosität und Dauerhaftigkeit. Aus dieser Sicht müssen Reparaturmaßnahmen an der Nordfassade als unfachmännisch und sehr unbefriedigend eingestuft werden (vgl. z.B. die Bilder 31 und 32).

Die Fassaden des Turmes sind von zahlreichen hauptsächlich lotrechten Rissen durchsetzt, die überwiegend auf thermische bzw. hygrische Beanspruchungen der Fassade zurückzuführen sind. Gravierende Ribbildungen sind vor allen Dingen an der Südfassade und an den südlichen Strebepfeilern festzustellen.

Insbesondere der über die gesamte Fassadenhöhe verlaufende Riß der Südfassade ist hauptsächlich auf mangelhafte Reparaturarbeiten zurückzuführen.

An den Strebepfeilern sind neben Steinauswechslungsmaßnahmen besondere Sicherungsmaßnahmen notwendig. Hierzu werden im folgenden noch Ausführungen gemacht.

Die Fassaden zeigen teilweise massive Undichtigkeiten, die sich in Form von Durchfeuchtungen im Bereich der Fenster äußern. Hervorgerufen sind sie durch Schlagregenaufnahme durch Risse und undichte Fugen, insbesondere auch im Bereich der Fenster. Diese Durchfeuchtungen werden dadurch behoben, daß geeignete Ribsanierungen vorgenommen werden und eine Fugenerneuerung in dem vorgeschlagenen Umfang. Hierzu sind den folgenden Ausführungen Einzelheiten zu entnehmen. Der Schadensumfang und die Schadensverteilung sind ferner aus den beiliegenden Plänen zu entnehmen.

Vor Beginn der Instandsetzungsarbeiten ist eine angemessene Reinigung vorzunehmen.

Die nach Auffassung des Unterzeichnenden notwendigen Instandsetzungsarbeiten sind stichwortartig aufgezählt folgende:

- Reinigung aller Fassaden
- Auswechseln stark geschädigter Steine bzw. zusammenhängende Erneuerung der Vormauerschale in Teilbereichen
- Sanierung der vorgefundenen Mauerwerksrisse nach verschiedenen Verfahren einschließlich Sicherung der Mauerwerksschalen durch Anker in Teilbereichen
- komplette Fugenerneuerung in Teilbereichen der Fassaden, Reparatur des Fugennetzes in den übrigen Bereichen
- Sanierung der Strebepfeiler durch teilweise Steinauswechslung, Ribsanierung und Vernadelung

#### 4.1 REINIGUNG DER FASSADENFLÄCHEN

Der Verschmutzungsgrad der Sichtmauerwerksfassaden reicht von mäßiger bis hin zu starker Verschmutzung und Moosbewuchs. Graffiti sind nicht anzutreffen.

Aufgrund des extremen Turmstandortes auf der Insel konnten keine Probereinigungsflächen angelegt werden. Es wird daher vorgeschlagen, die gesamte Fassade mittels Heißwasserhochdruckstrahlen zu behandeln, wobei die Parameter abgeschätzt werden zu 110°C, 100 bar, 25°-Düse. Diese Hochdruckreinigung ist auch wichtig, um in den Fassadenbereichen wo lediglich eine Fugenreparatur vorgenommen werden soll, die zu reparierenden Fugenbereiche besonders deutlich hervortreten zu lassen und zwar vornehmlich im Zuge der Trocknung nach der Reinigung.

Auf besonders stark verschmutzten Bereichen, insbesondere an den schwarzen Ablaufspuren unterhalb der Maueranker, kann mit Erfolg die Reinigung mit Hilfe einer Fassadenreinigungspaste vorgenommen werden. Dieses Verfahren könnte auch verwendet werden, um eine gründliche Reinigung bzw. Wiederherstellung der ursprünglichen Steinfarbe zu erreichen z.B. an der Nord- und Ostfassade des Turmes.

Vor einer Reinigung mit der Reinigungspaste sind Probeflächen anzulegen, um die Reinigungsparameter auf die Fassade abzustimmen.

Folgende Daten sollen dabei als Anhaltspunkte dienen:

- Reinigung mittels Fassadenreinigerpaste (Alkutex, Fa. Remmers)
  - Auftragen der Reinigungspaste auf den trockenen Untergrund
  - Verbrauch ca. 0,5 g/m<sup>2</sup> in zwei Arbeitsgängen
  - Einwirkzeit der Paste z.B. 15-20 min, danach evtl. ein 2. Mal auftragen und 10 min einwirken lassen
  - Gründliches Abwaschen der behandelten Oberflächen mittels Heißwasserhochdruckstrahlen (z.B. 110°C, 100 bar, 25°-Düse, Abstand min. 15 cm, Dauer 3-5 min/m<sup>2</sup>)
  - Neben den üblichen Schutzmaßnahmen ist das Auffangen und Entsorgen des anfallenden Wassers der Heißwassernachbehandlung erforderlich.

## 4.2 AUSRÄUMEN DER FUGEN UND NEUVERFUGUNG

Die örtlichen Untersuchungen des Mörtelmaterials zeigen, daß die Fugen des Mauerwerks zu einem großen Teil gerissen sind und Flankenablösungen aufweisen.

In Tabelle 9 und in den Plänen ist die Schadensquote der Verfugung dargestellt. Zudem wird für jeden Fassadenabschnitt ein Sanierungsvorschlag gegeben unter Berücksichtigung der vor Ort durchgeführten Untersuchungen und der Orientierung (Himmelsrichtung) der Fassaden.

| Fassadenfläche                          | Schadensquote der Fugen in [%] | Sanierungsempfehlung         |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| <u>Südfassade</u>                       |                                |                              |
| linker Streifen neueren Mauerwerks      | 30                             | vollständige Neuverfugung    |
| unteres Drittel                         | 100                            |                              |
| mittleres Drittel                       | 30                             |                              |
| oberes Drittel                          | 80                             |                              |
| Fensterlaibungen                        | 100                            |                              |
| <u>Westfassade</u>                      |                                |                              |
| untere Hälfte                           | 80                             | vollständige Neuverfugung    |
| obere Hälfte                            | 80                             |                              |
| Fensterlaibungen                        | 100                            |                              |
| Wand des Treppenhauses                  | 10                             | partielle Fugensanierung     |
| <u>Nordfassade</u>                      |                                |                              |
| Wand links vom Treppenhaus              | 20                             | partielle Fugensanierung     |
| Treppenhauswand                         | 10                             |                              |
| rechts vom Treppenhaus, unterer Bereich | 25                             |                              |
| rechts vom Treppenhaus, oberer Bereich  | 50                             | vollständige Fugenerneuerung |
| Fensterlaibungen                        | 50                             |                              |

| <u>Ostfassade</u>                             |     |  |
|---|-----|--|
| linker Fassadenstreifen,<br>unten             | 15  | 20 % der Fassade<br><br>(vollständige<br>Fugenerneuerung von<br>Teilflächen und<br>Fugenreparatur) |
| linker Fassadenstreifen,<br>mittig            | 20  |  |
| linker Fassadenstreifen,<br>oben              | 100 |  |
| links vom Eingang:<br>unten (altes Mauerwerk) | 10  |  |
| darüber (neues Mauerwerk)                     | 1   |  |
| darüber (altes Mauerwerk)                     | 20  |  |
| darüber (neues Mauerwerk)                     | 5   |  |
| oberhalb des Eingangs                         | 20  |  |
| rechter Fassadenabschnitt                     | 15  |  |
| Treppenhauswand                               | 5   |  |
| Fensterlaibungen                              | 50  |  |

Tabelle 9: Fugenschädigungsrate der Sichtmauerwerksfassaden

Für die Neuverfugung wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

Zunächst sollte ein Ausräumen der Fugen bis in eine Tiefe von mindestens 20 mm erfolgen. Hierfür können die Fugen mit Hilfe einer Trennscheibe durch einen Schnitt entspannt werden. Ein Anschneiden der Steinkanten ist dabei zu vermeiden. Die Fugen können dann anschließend mit einem maschinell betriebenen Spezialfugenmeißel oder per Hand sorgfältig ausgeräumt werden. Hierbei ist besondere Sorgfalt erforderlich, um eine Beschädigung der Steine zu vermeiden. Mörtelreste müssen von den Fugenflanken vollständig entfernt werden.

Es ist empfehlenswert, die Verfahrensweise an einer Probefläche testen zu lassen. Gutes Vornässen und einwandfreie Verdichtung des einzubringenden Fugenmaterials sind Voraussetzung für eine gute Ausführungsqualität. Das neue Fugenmaterial muß vor Austrocknung durch Sonne und Wind unbedingt geschützt und ausreichend lange feucht gehalten werden.

Für die Neuverfugung wird bei den vorliegenden Gebäudeteilen - in Anlehnung an die vorgefundenen Festigkeiten des vorhandenen Fugenmörtels - ein Rezeptmörtel der Mörtelgruppe IIa (unter anteiliger Verwendung eines

sulfatbeständigen PZ - HS und von hochhydraulischem Kalk) in der Zusammensetzung nach DIN 1053 empfohlen. Ein Werk trockenmörtel (vorzugsweise MG III) kann nur vorgeschlagen werden, wenn an einer Probefläche vor Ort eine angemessene Festigkeit und ausreichende Schlagregendichtigkeit nachgewiesen wird.

#### 4.3 AUSWECHSELN GESCHÄDIGTER STEINE

Bereiche, in denen Ziegel auszuwechseln sind, sollten vor dem Verschließen ausreichend vorgeätzt werden, um einen einwandfreien Verbund zu gewährleisten. Der Mörtel sollte steif und gut verdichtet eingebracht werden. Es wird vorgeschlagen, einen Mauermörtel Rezeptmörtel II a gemäß DIN 1053, Teil 1 zu verwenden, und zwar auf der Basis von PZ - HS und hochhydraulischem Kalk.

In welchem Umfang sich Steinschäden an den einzelnen Sichtmauerwerksfassaden eingestellt haben wird in der Tabelle 10 als prozentuale Angabe von der gekennzeichneten Fassadenfläche abgeschätzt. Hierbei sind die in den Plänen festgehaltenen durch Risse geschädigten Ziegel nicht berücksichtigt.

Hinzuzurechnen wäre noch ein Anteil, der sich durch Beschädigung von Nachbarsteinen beim Entfernen auszuwechselnder Steine ergeben kann.

| Fassadenfläche                     | Schadensquote der Ziegel<br>in [%] |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <u>Südfassade</u>                  |                                    |
| linker Streifen neueren Mauerwerks | 10                                 |
| unteres Drittel                    | 80                                 |
| mittleres Drittel                  | 5                                  |
| oberes Drittel                     | 5                                  |

|   |    |
|---|----|
| <u>Westfassade</u>                      |    |
| untere Hälfte                           | 15 |
| obere Hälfte                            | 10 |
| Wand des Treppenhauses                  | 5  |
| <u>Nordfassade</u>                      |    |
| Wand links vom Treppenhaus              | 10 |
| Treppenhauswand                         | 5  |
| rechts vom Treppenhaus, oberer Bereich  | 50 |
| rechts vom Treppenhaus, unterer Bereich | 5  |
| <u>Ostfassade</u>                       |    |
| linker Fassadenstreifen, unten          | 10 |
| linker Fassadenstreifen, mittig         | 5  |
| linker Fassadenstreifen, oben           | 20 |
| links vom Eingang:                      |    |
| unten (altes Mauerwerk)                 | 5  |
| darüber (neues Mauerwerk)               | 1  |
| darüber (altes Mauerwerk)               | 10 |
| darüber (neues Mauerwerk)               | 1  |
| oberhalb des Eingangs                   | 10 |
| rechter Fassadenabschnitt               | 5  |
| Treppenhauswand                         | 1  |

Tabelle 10: Steinschädigungsrate der Sichtmauerwerksfassaden

In den Fällen, wo zusammenhängende Flächen der Vormauerschale erneuert werden müssen - dies betrifft hauptsächlich den unteren Bereich der Südfassade - müssen bestimmte Ausführungslösungen gewählt werden, die einen sicheren Verbund der Schale zum Hintermauerwerk, eine ausreichende Schlagregendichtigkeit sowie ein akzeptables Verhalten bei Temperaturwechselbeanspruchungen gewährleisten. Werden diese Lösungen nicht gewählt, besteht die Gefahr örtlicher oder großflächiger Mauerwerksdurchfeuchtungen und Rißbildungen. Aus dieser Sicht ist offensichtlich der bereits erneuerte linke Teil der Südfassade kritisch zu sehen, wie der breite Riß am Übergang rechts zur alten Vormauerschale (vgl. Bild 6) und die dortigen stärkeren Ausblühungen zeigen.

Die beste und für das historische Bauwerk angemessene Lösung besteht darin, in den betroffenen Bereichen die alte Vormauerschale so zu entfernen, daß die neue Schale abwechselnd durch Binder- und Läuferschichten mit dem Hintermauerwerk wieder verbunden werden können. Dies bedeutet, daß nicht nur ca. 12 cm Vormauerschale in den betroffenen Bereichen abgeschlagen werden, sondern die alten Binderschichten vollständig entfernt werden. Danach ist es dann möglich, durch vollfugiges Vermauern mit ausgewählten Klinkern die Vormauerschale im ursprünglichen Verband wiederherzustellen. Dies ist im Hinblick auf die Schlagregendichtigkeit und die Verhinderung zu großer thermischer Bewegungen der neuen Vormauerschale von hoher Bedeutung. Zusätzlich sollten zur Sicherung Edelstahldrahtanker eingebaut werden, und zwar mindestens drei Stück pro Quadratmeter.

Wird der vollfugige Verbund der Vormauerschale mit dem Hintermauerwerk auf diese Weise nicht hergestellt, so ist im Prinzip nach DIN 1053, Ausgabe 1990 vorzugehen, wonach eine spezielle Ausbildung der Schalenfuge, Drahtanker und Z-Folienstreifen angeordnet werden müssen. Insbesondere sind dann auch die lotrechten Ränder zusätzlich zu sichern.

#### 4.4 INSTANDSETZUNG DES MAUERWERKS IN RIßBEREICHEN

An den Fassaden des Turms treten Mauerwerksrisse bis zu mehreren Metern Länge auf. Die Risse verlaufen nur in der Vormauerschale und dringen nicht tiefer ins Hintermauerwerk ein. Mit Ausnahme des gebäudehohen Trennrisses zwischen erneuerter und alter Vormauerschale an der Südfassade wird vorgeschlagen, die weitgehend lotrecht durch Fugen und Steine verlaufenden Risse durch Injektion mit einer sulfatbeständigen Schlämme auf Basis von Zement und Zusatzstoffen zu schließen, wobei der Riß bis auf das Hintermauerwerk gefüllt werden muß.

Oberhalb des zu erneuernden Fassadenbereiches kann auch der bereits angesprochene lange Riß an der Südfassade durch Injektion mit einer Schlämme geschlossen werden.

Zusätzlich sollte der rechte Rand des erneuerten Fassadenstreifens (Westseite der Südfassade) auf einer Breite von ca. 70 cm mit jeweils 5 Ankern nachträglich gesichert werden. Vorgeschlagen wird das Ankersystem Hilti HIT C 100.

#### 4.5 INSTANDSETZUNG DER STREBEPFEILER AN DER SÜDFASSADE

Die für das Erscheinungsbild sehr wichtigen Strebepfeiler an den Ecken der Südfassade bedürfen dringend einer Sanierung, wobei der linke Pfeiler starke Rißbildungen aufweist.

Folgende Vorgehensweise wird für den linken Strebepfeiler vorgeschlagen:

- sorgfältige Reinigung der Pfeiler durch Heißwasserhochdruckstrahlen
- Entfernen lockeren Füllmaterials aus älteren Rissen und den Anschlußfugen der Pfeiler an die Fassade, wobei im Hinblick auf das spätere Verfüllen evtl. eine Vertiefung der Fugen nötig ist
- Auswechseln stark geschädigter Steine an der Oberfläche und den Seitenflächen des Pfeilers. Es wird eine Zahl von 100 auszuwechselnden Steinen geschätzt.
- Oberflächige Verfugung der breiten Risse, Injektion dieser breiten Risse im Anschluß an die Verfugung sowie Injektion der schmaleren Risse, komplette Fugenerneuerung der schrägen Oberfläche des westlichen Pfeilers, Fugenreparatur an den Seitenflächen
- Wegen der starken Rißbildung und zur Verhinderung eines weiteren Aufspaltens des linken Strebepfeilers wird vorgeschlagen, eine partielle Vernadelung dieses Pfeilers vorzunehmen. Vorgeschlagen wird, in einer Tiefe von 30 cm unterhalb der schrägen Oberfläche in Querrichtung von Seitenwand zu Seitenwand 7 Edelstahlnadeln einzubauen.

Hierzu werden Kernbohrungen, Durchmesser 50 mm, durch den Strebepfeiler vorgenommen, und gerippte Edelstähle, Durchmesser 10 mm, zentrisch eingebaut, wobei die Enden ca. 30 mm unterhalb der Lochoberfläche enden. Danach werden die Bohrungen mit einem sulfatbeständigen Mörtel dicht geschlossen, wobei anschließend die Bohrlochmündungen mit einem ziegelfarbenen Feinmörtel gefüllt werden.

Der rechte Strebepfeiler kann auf entsprechende Weise instandgesetzt werden, wobei die Rißlängen wesentlich niedriger sind und eine Vernadelung offensichtlich nicht erforderlich ist.

## 5. SONSTIGES

In Kapitel 2.6 sind einige sonstige Schäden bzw. Schwachstellen des Gebäudes beschrieben. Hierzu zählen die korrodierten eisernen Gebäudeanker und Fenstergitter. Die Fenster bedürfen einer Kontrolle und Instandsetzung mittels zumindest eines neuen Anstrichs.

Hamburg, den 10. Februar 1995



---

Prof. Dr.-Ing. L. Franke  
Technische Universität  
Hamburg Harburg TUHH



---

Dr.-Ing. E. Overbeck  
BIHH Bau-Institut  
Hamburg Harburg GmbH



---

Dipl.-Ing. D. Lappeßen  
BIHH Bau-Institut  
Hamburg Harburg GmbH

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Franke, L., Bentrup, H.: Einfluß von Rissen auf die Schlagregensicherheit von hydrophobiertem Mauerwerk, Bautenschutz + Bausanierung, 6/1991, S.98 und 7/1991, S. 117
- [2] Franke, L., Bentrup, H.: Beurteilung der Frostwiderstandsfähigkeit von Ziegeln im Hinblick auf lange Lebensdauer, Ziegel Intern., 1993, S.483 und S. 528
- [3] Franke, L., Grabau, J.: The influence of salt content on the drying behaviour of bricks, Nato - CCMS Pilot Study " Conservation of Historic Brick Structures ", Proceedings of the 7<sup>th</sup> Expert Meeting, Milano 1993
- [4] Franke, L.: Zustandsbeurteilung und Instandsetzungsplanung von Sichtmauerwerksbauten, Mauerwerk-Kalender 1995