

## Bericht über Ultraschallmessungen an dem Wohnturm der Burg Oberreifenberg

### I. Einleitung

Der Wohnturm der Burg Oberreifenberg weist speziell in der Ost- und Westwand beim ersten Anschein eine Reihe von Schädigungen auf. Es handelt sich hier um teils reparierte Rißsysteme und um eine nicht zu übersehende Neigung einer der Mauern. Diese Erscheinungen legen eine genauere Untersuchung nahe. Als Methode bietet sich hier eine Ausmessung der Ausbreitungseigenschaften von Körperschallwellen an (der Begriff Ultraschall wird vermieden, da der Frequenzbereich der verwendeten Anregung im Grenzgebiet zwischen Audio- und Ultraschall liegt). Damit kann man sehr gut den qualitativen Zustand eines Mauerwerks feststellen, man kann Hohlräume wie Kamine etc. detektieren, und man kann Lockerungszonen finden. Es wurden nun Ost- wie Westwand untersucht, hier wird aber aus Platzgründen nur über die Ergebnisse an der Ostwand berichtet.

Bevor die Untersuchungen im einzelnen vorgestellt werden, sei zuerst ein Grundriß des Wohnturms gezeigt.

Zum Zwecke der Untersuchung wurde der Wohnturm eingerüstet, so daß man alle Punkte bequem erreichen konnte. Bei einer ersten Betrachtung fielen folgende Tatsachen auf:

#### 1. Wand Ostseite

Die Außenwand des Wohnturms auf der Ostseite neigt sich im südlichen oberen Teil nach außen. Der Überhang ist auch deutlich auf der photogrammetrischen Auswertung zu erkennen, die uns vorlag. Der Überhang beträgt ungefähr 30 cm im Süden und nimmt von dort aus nach Norden stetig ab, um ungefähr in der Hälfte der Mauer auf Null zurückzugehen. Die Grenze der Ausbeulung nach unten zu lag bei ungefähr einem Drittel der Gesamthöhe des Turms, von oben ab gemessen. Wo die Ausbeulung in den „normalen“ undeformierten Teil überging, war ein Rißsystem zu erkennen, das sehr gut ausgebildet war. Neben und in diesem Rißsystem waren Reparaturstellen mit neuem Mörtel zu erkennen.

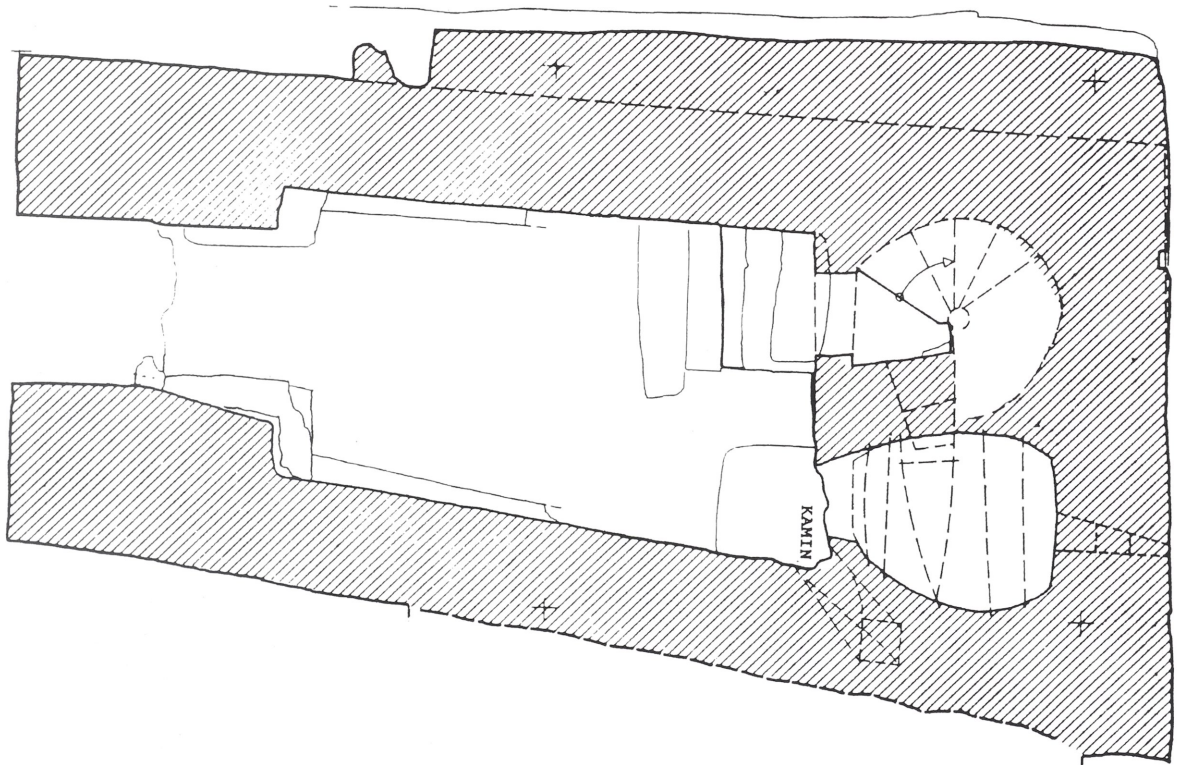


Abb. 1. Grundriß des Wohnturms der Burg Oberreifenberg auf der Höhe des Erdgeschosses.

Bei genauerer Betrachtung der Ostwand fiel noch folgendes auf: Von Süden gesehen nahm die Stärke der Mauer von unten nach oben fast kontinuierlich ab dem 3. Geschoß zu. Der Überhang von etwa 30 cm setzte sich also aus einer Verdickung der Mauer um etwa 15 cm und einem Abweichen der Mauer aus der Senkrechten um etwa den gleichen Betrag zusammen. Diese Beobachtungen sind in Abb. 2 skizziert.

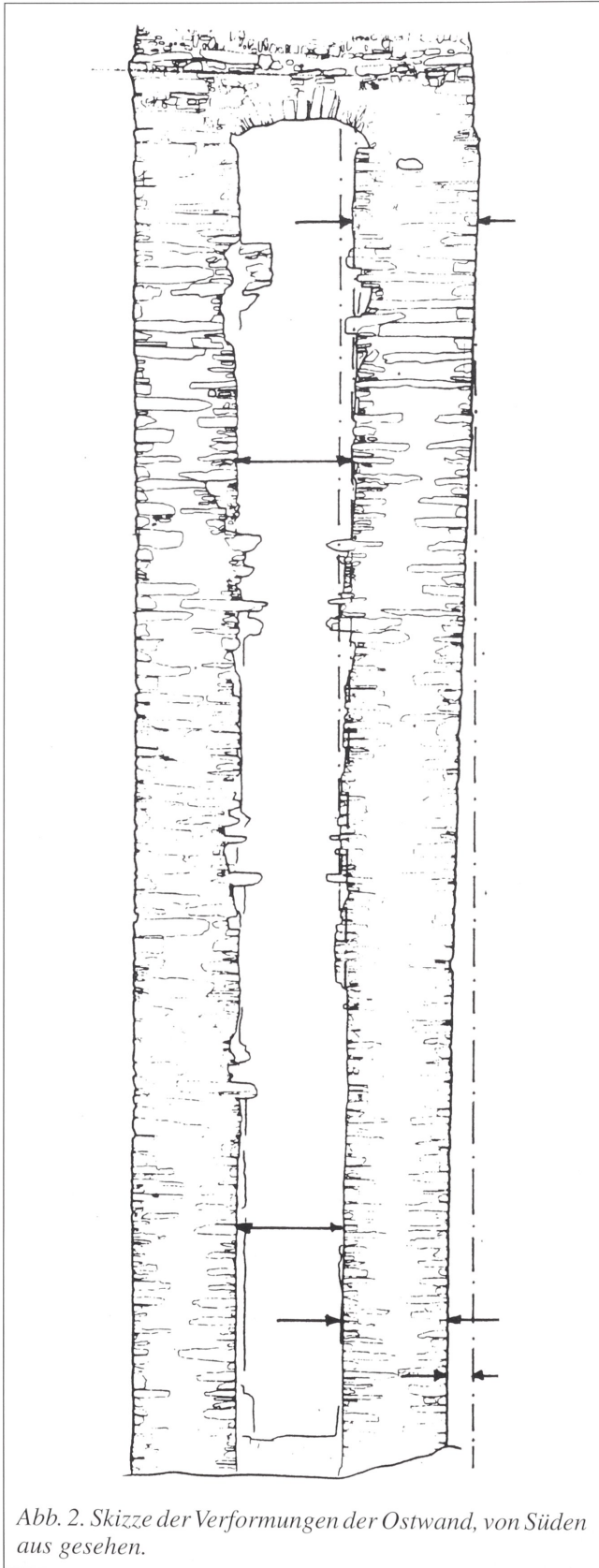


Abb. 2. Skizze der Verformungen der Ostwand, von Süden aus gesehen.

Als nächstes fiel auf, daß diese von der Südseite her wahrnehmbare Zunahme der Mauerdicke nur die ersten 30 bis 40 cm betraf. Danach ging die Mauerstärke auf das normale Maß zurück. Diese Tatsachen sind in Abb. 2 skizziert.

Betrachtet man die Süd-Ostecke der Ostmauer von der Ostseite aus, so stellt man wiederum einen allerdings nicht so großen Überhang nach außen, also hier nach Süden hin, fest.

Der Grund für diese Deformationen kann in der Fundamentierung vermutet werden. Zwar kann man an der Ostseite nichts erkennen, da sich hier ein Schuttkegel aufgebaut hat, auf der Westseite hingegen sieht man, daß das Fundament im nördlichen Teil auf einem Felsen ruht, der von Nordwesten nach Südosten abfällt und dessen Verlauf im Süden nicht erkennbar ist. Es drängt sich hier die Vermutung auf, daß die Süd-Ost-Ecke des Wohnturms nicht mehr auf diesem gewachsenen Felsen ruht, sondern schlechter gegründet ist und damit nachgibt und die beschriebenen Deformationen auslöst.

Ebenfalls kann vermutet werden, daß diese Deformationen schon während des Bauzustandes begannen und die oben ausgeführte Korrektur in der Mauerbreite, die von Süden aus sichtbar ist, zur Folge hatten. Man kann sich vorstellen, daß man damit die Öffnung des Turmes nach Süden hin überall gleich halten wollte. Eine nachträgliche Korrektur der Öffnungsbreite kommt unserer Meinung nach nicht in Frage, da man keine Naht an der Mauerverbreiterung feststellen kann.

Folgt man dieser Argumentation, so hat die Abweichung aus der Lotrechten schon im Bauzustand begonnen, wurde dabei durch Verbreiterung korrigiert und nahm trotzdem auch nach Fertigstellung weiter zu. Eine Stütze für diese Hypothese kann ebenfalls in Abb. 1 erkannt werden: Die Ostmauer ist im oberen Teil mit wesentlich größeren durchgehenden Steinblöcken vermauert worden als im unteren. Bei normaler Bauart würde man aber genau das Gegenteil erwarten, da die größeren Blöcke schwieriger in die Höhe zu bringen sind als die kleineren. Bei rationalem Verhalten des mittelalterlichen Baumeisters könnten diese Blöcke dann als seine „Angsteisen“ interpretiert werden. Weiter unten werden weitere Hinweise diese Annahme stützen. Ein abschließender „Beweis“ wird jedoch nicht zu erbringen sein. Dafür, daß die oben erwähnte Bewegung noch nicht zum Stillstand gekommen ist, spricht die Tatsache, daß die in neuerer Zeit eingesetzten Maueranker, die als Zugglieder Ost- und Westmauer verbinden, ersichtlich stark beansprucht werden. Das macht sich in der auf den ersten Blick dramatischen Deformation der Schlaudern zu einem V bemerkbar.

## 2. Gewölbe

Das Gewölbe, eine Tonne, zeigt Erscheinungen, die den oben genannten entsprechen: Im hinteren nördlichen Teil gegen das Treppenhaus hin bemerkt man die ursprüngliche Form mit dem wohl anfangs geplanten Krümmungsradius. Schäden sind nicht festzustellen. Im südlichen Teil dagegen ist das Gewölbe, bedingt durch die Auswanderung der Ostmauer nach außen hin, wesentlich flacher; man kann Schäden wie aufgerissene Fugen und fast lose sitzende Steine feststellen. Die Grenze dieser Erscheinungen wird durch den auswandernden Teil der Ostmauer und das entsprechende Rißsystem festgelegt. Das Rißsystem setzt sich durch die Tonne hindurch, wie auch oben erwähnt, bis zur Westwand fort, verschwindet aber dort sehr bald. Man

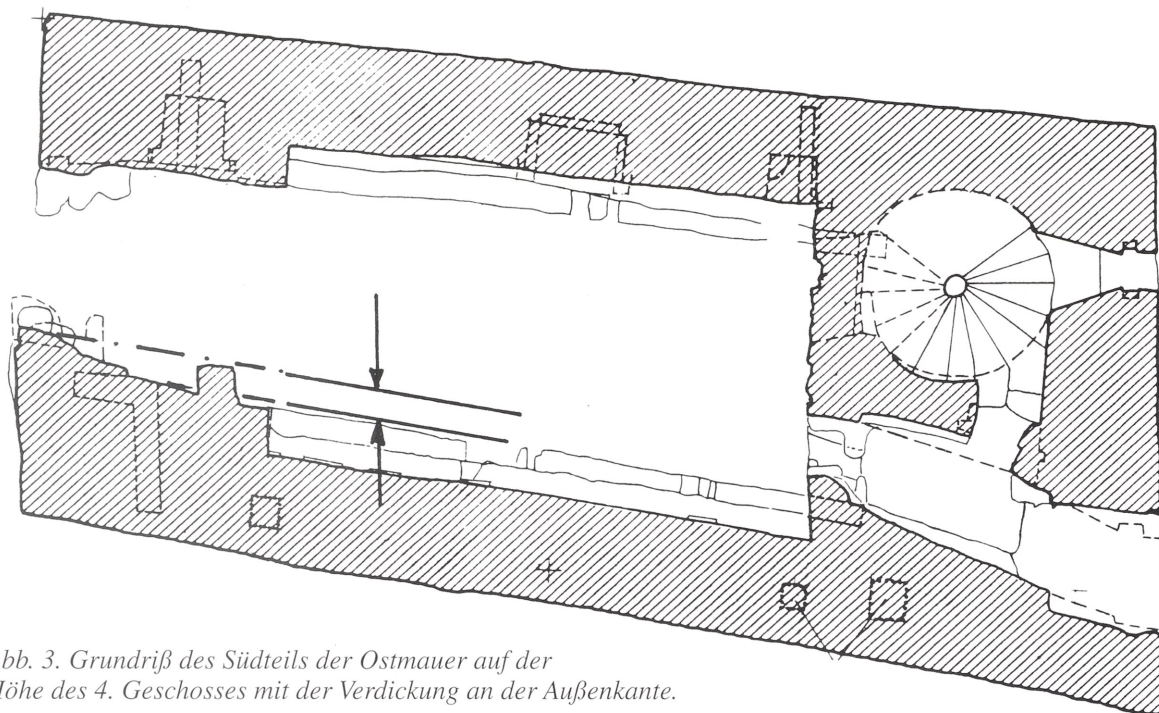


Abb. 3. Grundriß des Südteils der Ostmauer auf der Höhe des 4. Geschosses mit der Verdickung an der Außenkante.

erkennt im vorderen Teil der Tonne entsprechend den Zerstörungen nasse dunkle Stellen und Salzausblühungen, was darauf hindeutet, daß ein Teil der Schäden, insbesondere die Auflösung des Fugenmörtels, auf Nässe zurückzuführen sein wird.

Als Kuriosum fällt auf, daß die Tonne eine Mischung aus „falschem“ und „echtem“ Gewölbe darstellt.

Hier müssen auch die in letzter Zeit eingesetzten Zuganker besprochen werden: Sie verbinden die Ostmauer mit der Westmauer, hängen sozusagen den Ostteil am Westteil auf. Dem Gefühl nach stehen diese Zuganker unter relativ hoher Spannung. Das macht sich auch an den Schlaudern bemerkbar, mit denen sich die Zuganker auf der Außenseite der Westmauer abstützen: Alle Schlaudern waren V-artig verformt, zwei davon sogar extrem. Auf die in den Zugankern übertragenen Kräfte wird weiter unten eingegangen werden.

#### 4. Innenraum

Der Innenraum des Wohnturms läßt die ehemalige Einteilung in fünf Geschosse noch klar erkennen: Man findet als Auflager der alten Holzdecken durchgehende bogenförmige Konsolen auf den Innenseiten sowohl auf der Ost- als auch der Westmauer. Die Bogenform ist rein dekorativ, eine entsprechende Tragwirkung nicht vorhanden. In den Konsolen auf der Ostmauer läßt sich das oben beschriebene Rißsystem deutlich erkennen: Hier sind die Konsolsteine teilweise ausgebrochen, linkes und rechtes Rißufer um ungefähr 5 cm in Ost-West-Richtung gegeneinander verschoben. Eine Gipsmarke aus dem Jahre 1955, die sich auf der Höhe des dritten Geschosses über dem Riß befindet, ist zwar nicht gerissen, hat sich aber auf der südlichen Seite des Risses von der Wand gelöst.

Ansonsten findet man im Inneren in den Mauern eine große Anzahl von Rüstlöchern und vergleichbaren Öffnungen. Besonders interessant sind diejenigen auf der 4. Geschoßebene: Hier befinden sich die Löcher, wie es eigentlich nicht zwingend notwendig ist, direkt gegenüber und haben einen

beachtlichen Durchmesser. Deshalb wird der Schluß nahegelegt, daß es sich nicht um Gerüstlöcher, sondern eventuell um Ankerlöcher für schon im Urzustand eingebaute Zuganker handeln könnte. Diese Hypothese wird gestützt durch die nach hinten zunehmende Verbreiterung der südlichen Löcher bzw. durch hinten sich anschließende Querlöcher wie in Abb. 3 skizziert. Daß das zum mittleren Loch in der Westwand korrespondierende in der Ostwand fehlt, könnte darauf zurückzuführen sein, daß hier in der Ostwand repariert wurde (wie man auch am Mörtel erkennt) und daß im Zuge dieser Reparatur das entsprechende Loch beseitigt worden ist. Diese hier beschriebenen Tatsachen könnten als weitere „Angsteisen“ des mittelalterlichen Baumeisters aufgefaßt werden, wie schon oben angedeutet wurde.

Ansonsten fällt eine Reihe von Kaminen und Kanälen in beiden Mauern auf, auf die weiter unten eingegangen wird.

## II. Messungen

### 1. Meßprinzip

Es ist bekannt, daß man vergleichend den Zustand eines Mauerwerks mit Hilfe der Ausbreitung von Körperschall feststellen kann: Je besser ein Mauerwerk, um so schneller ist ceteris paribus die P-Welle. Ebenfalls charakteristisch ist die Dämpfung: Je besser das Mauerwerk, um so kleiner die Dämpfung. Hohlräume bilden sich ebenfalls durch verminderte Geschwindigkeiten ab. Leider fehlen zum jetzigen Zeitpunkt noch quantitative Aussagen. Man muß sich aber darüber klar sein, daß wegen der vielen Parameter des Mauerwerks wie Werkstoffe (Natursteine, Ziegel, Kalksteine, Fugenmörtel etc.), der verschiedenartigen Geometrie (Fugenbreite, Steingröße, Verband) auch solche Aussagen sehr schwierig zu machen sein werden. Deshalb werden auch hier nur die Schallgeschwindigkeit als Parameter herangezogen und nur, wie schon oben erwähnt, vergleichende Aussagen gemacht.

Die einfachste Möglichkeit für die Durchführung solcher Messungen ist die Transmissionsmessung: Hier wird ein Körperschallimpuls auf der einen Seite in die Mauer einge-

geben, auf der gegenüberliegenden Seite dieser Impuls, nachdem er durch die Mauer gelaufen ist, mit einem Beschleunigungsaufnehmer wieder aufgenommen. Die Zeit für das Durchlaufen der Mauer kann gemessen werden, daraus wird eine durchschnittliche Geschwindigkeit errechnet. Das Vorgehen ist in Abb. 4 skizziert.

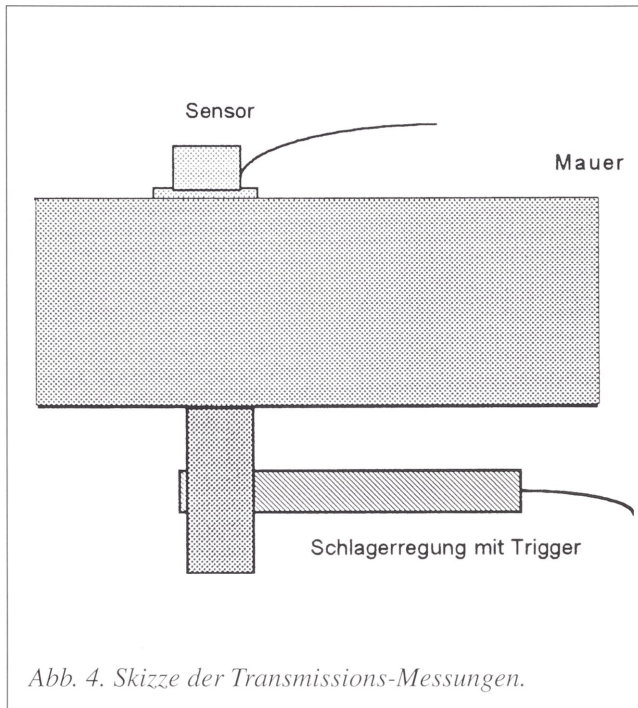


Abb. 4. Skizze der Transmissions-Messungen.

### III. Messergebnisse

Im folgenden werden die Meßergebnisse, d. h. die gemessenen Geschwindigkeiten, präsentiert. Es wurden verschiedene Arten von Transmissions-Messungen durchgeführt: Einmal wurde die Mauer in reiner Transmission abgetastet, es wurde in Abständen von 0,5 m die Geschwindigkeit eines Schallimpulses senkrecht durch die Mauer integral bestimmt. Daneben wurde am südlichen „Pfeiler“ jeweils der Ost- wie der Nordwand nach Art der Computertomographie die Geschwindigkeit auf unterschiedlichen Laufwegen bestimmt, um genauere Informationen über den dortigen Aufbau zu erhalten. Zusätzlich wurden an der Ostwand über das Rißsystem hinüber in verschiedenen Richtungen Geschwindigkeiten gemessen, um Informationen über den Grad der dortigen Schädigung zu erhalten. Die reinen direkten Transmissionsmessungen werden auf zwei Arten präsentiert: Einmal wird die gemessene Geschwindigkeit direkt als Funktion des Ortes aufgetragen, in den nun folgenden Transmissionsmessungen mit einer dünnen Linie gekennzeichnet. Man muß sich aber darüber im klaren sein, daß diese Messungen infolge des Aufbaus der Mauer stark schwanken. Deshalb wird hier eine Klassenbildung vorgenommen: Alle Werte in einem Intervall von 0,5 bis 1,499, 1,5 bis 2,499, 2,5 bis 3,499 km/sec etc. werden zu den Klassen 1, 2, 3 etc. zusammengefaßt und ebenfalls präsentiert. Die entsprechenden Ergebnisse sind in der Abbildung mit einer dicken Linie gekennzeichnet.

Die Abtastung der Mauern geschah in horizontalen Ebenen, deren Lage für Ost- und Westwand Abb. 9 zu entnehmen ist.

#### III.1.a. Ostwand, Geschoß 1

Die direkten Meßergebnisse, die integralen Geschwindigkeiten, sind in Abb. 7 als Funktion des Abstandes von der Südkante aus mit einer dünnen, die entsprechenden, nach der obigen Vorschrift gebildeten Klassen mit einer dicken Linie eingezeichnet. Im ersten Teil der Ostwand von Süden her, in dem dicker ausgeführten Pfeiler, stellt man zuerst eine relativ geringe Geschwindigkeit (unter 2 km/sec) fest: Kennzeichen dafür, daß man es hier mit einem mehrschaligen Aufbau zu tun hat, wie er auch bei dieser Dicke (1,5 m) zu erwarten ist. Kurz vor dem Ende des dicken Pfeilers erkennt man einen plötzlichen Anstieg der Geschwindigkeit auf über 3 km/sec. Dieser Anstieg läßt sich auf die gegenüber dem üblichen Mauerwerk sorgfältiger ausgeführte Laibung des Vorsprunges zurückführen. Danach mißt man wiederum einen Abfall, der jedoch nicht so charakteristisch ist, als daß er ohne weitere Information gedeutet werden könnte. Im letzten Bereich steigt die Geschwindigkeit wieder an und erreicht überall die Klasse 3. Diese Geschwindigkeit scheint auch die normale in der nur 1 m breiten Mauer zu sein.

#### III.1.b. Ostwand, Geschoß 2

Die Meßergebnisse sind wieder in Abb. 8 über dem Grundriß eingezeichnet. Zuerst stellt man in dem Pfeiler etwas höhere Geschwindigkeiten (2–2,5 km/sec) als in dem Geschoß darunter fest. Daran schließt sich ein Minimum an, welches durch das oben beschriebene Rißsystem verursacht wird. Hier mißt man Geschwindigkeiten unter 2 km/sec im dünneren, besser ausgeführten Teil der Mauer (ein dafür niedriger Wert). Diese Werte lassen die Hypothese zu, daß der in voriger Abb. an gleicher Stelle bemerkbare Einbruch wohl die gleichen Ursachen haben könnte. Gefolgt wird dieser niedrige Wert von einem beachtlichen Anstieg auf über 4 km/sec. Dieser Anstieg identifiziert eine erst kürzlich mit einem modernen Mörtel ausgebesserte Stelle. Danach geht die Geschwindigkeit wieder auf etwas über 2,5 km/sec zurück, was schon oben als die normale Größenordnung in dieser Mauerzone definiert wurde. Zwei Einbrüche kennzeichnen jeweils einen Kamin. Im nördlichen Teil der Mauer hat man wieder die Durchschnittsgeschwindigkeit des südlichen Pfeilers.

#### III.1.c. Ostwand, Geschoß 3

Hier hat man im Prinzip die gleiche Struktur wie in voriger Abb.: Im Pfeiler stellt man zuerst eine Geschwindigkeit um die 2 km/sec fest, die in der Laibung auf fast 3 km/sec ansteigt. Danach folgt ein Einbruch der Geschwindigkeit auf unter 1,5 km/sec, der hier nicht durch das Rißsystem verursacht wird, das sich in dieser Höhe eher nördlicher entwickelt hat und das durch den nächsten Einbruch von ungefähr 2,5 auf unter 1,5 km/sec angedeutet wird. Die beiden Einbrüche charakterisieren die sich schon oben abzeichnenden Kamine.

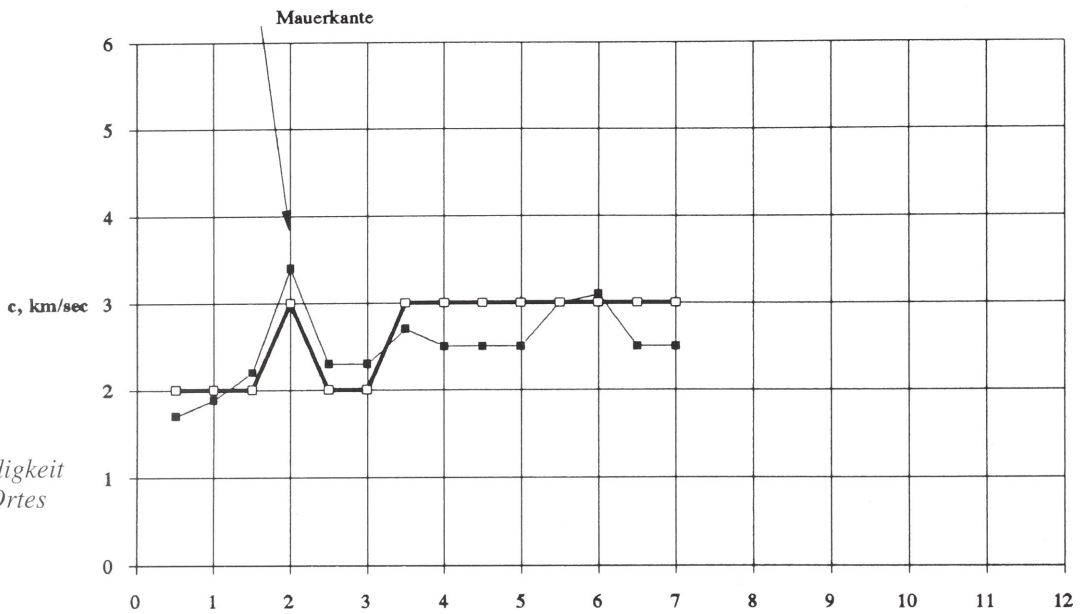


Abb. 5. Geschwindigkeit als Funktion des Ortes in der Ostmauer; Schnitt Ebene 1.

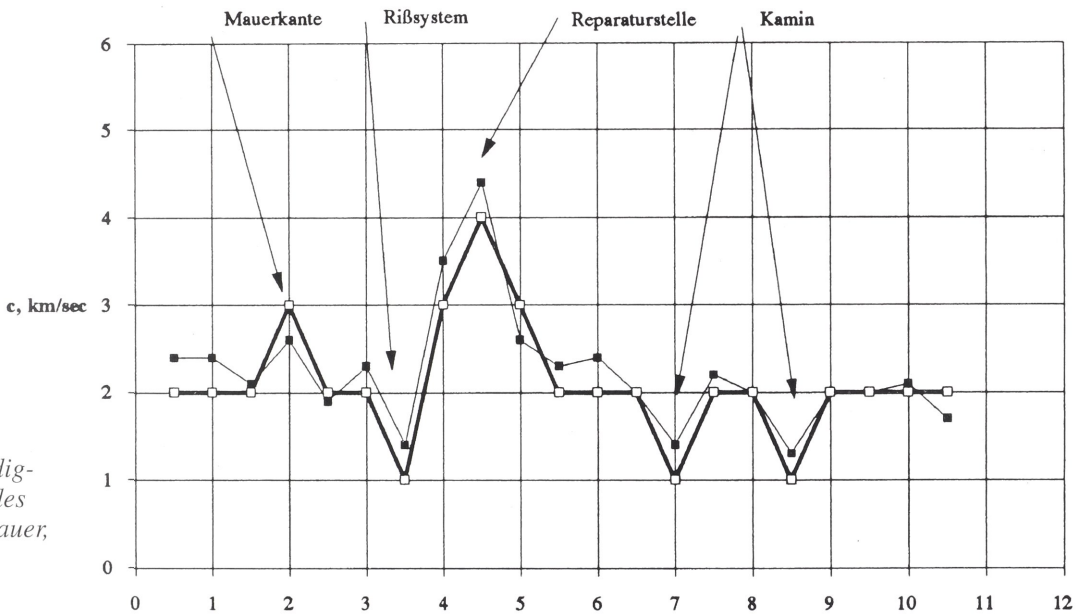


Abb. 6. Geschwindigkeit als Funktion des Ortes in der Ostmauer; Schnitt Ebene 2.

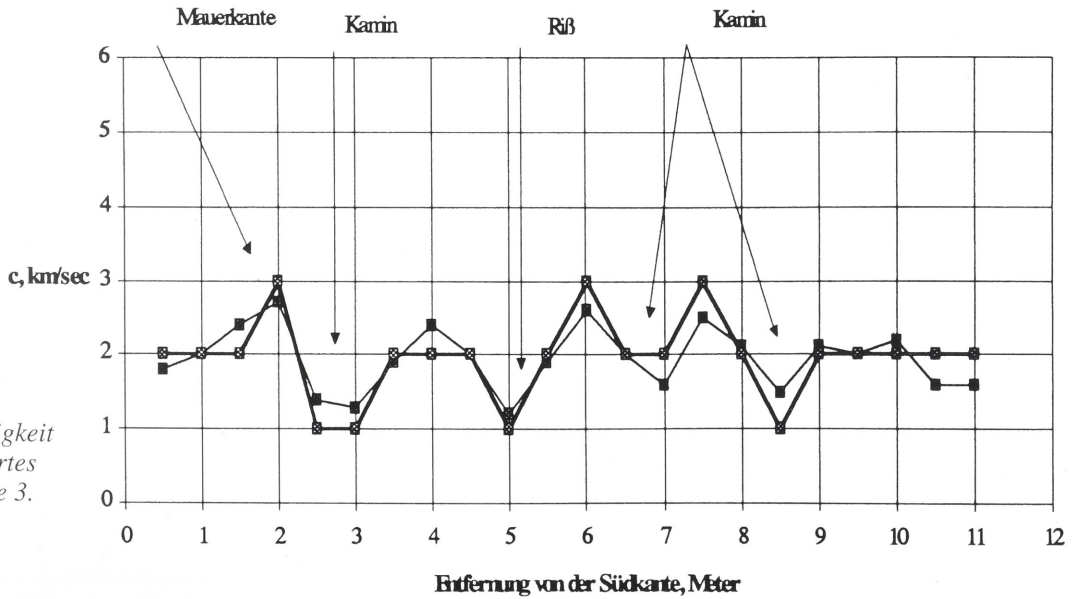


Abb. 7. Geschwindigkeit als Funktion des Ortes für die Schnitt Ebene 3.

### III.1.d. Ostwand, Geschoß 4

Deutlich sind wieder die drei Kamine zu erkennen. Das Rißsystem zeichnet sich ebenfalls klar ab. Ungewöhnlich ist der Bereich der großen Werte bei ungefähr 6 m. Hier gibt es zwei Deutungen: Einmal könnte eine moderne Reparaturstelle angezeigt werden. Dafür spricht der sehr hohe Wert der Schallgeschwindigkeit von über 5 km/sec, der bei mittelalterlichem Haufenmauerwerk nach unserer Erfahrung sonst nur selten erreicht wird. Die auf diesem Geschoß in der Nähe des Fußbodens festgestellten Löcher lassen aber auch einen anderen Schluß zu: Es könnte sich bei diesen Löchern

um Verankerungen für schon während der Bauzeit eingesetzte Zuganker handeln, die vielleicht als Folge einer schon damals einsetzenden Bewegung als notwendig erachtet wurden. Für diese Hypothese spricht auch, daß zumindest die zwei südlichen Ankerlöcher sich nach hinten verbreitern und so Zug aufnehmen konnten. In diesem Falle könnte auch die bessere Ausführung der Mauer durch die zu erwartende Belastung bedingt gewesen sein. Bemerkenswert ist, daß sich ein Gegenüber des mittleren Lochs in der Westwand in der Ostwand nicht finden läßt: Das spricht wiederum für eine moderne Reparatur, die das alte Auflager nicht erkannt und deshalb nicht wieder hergestellt hat.

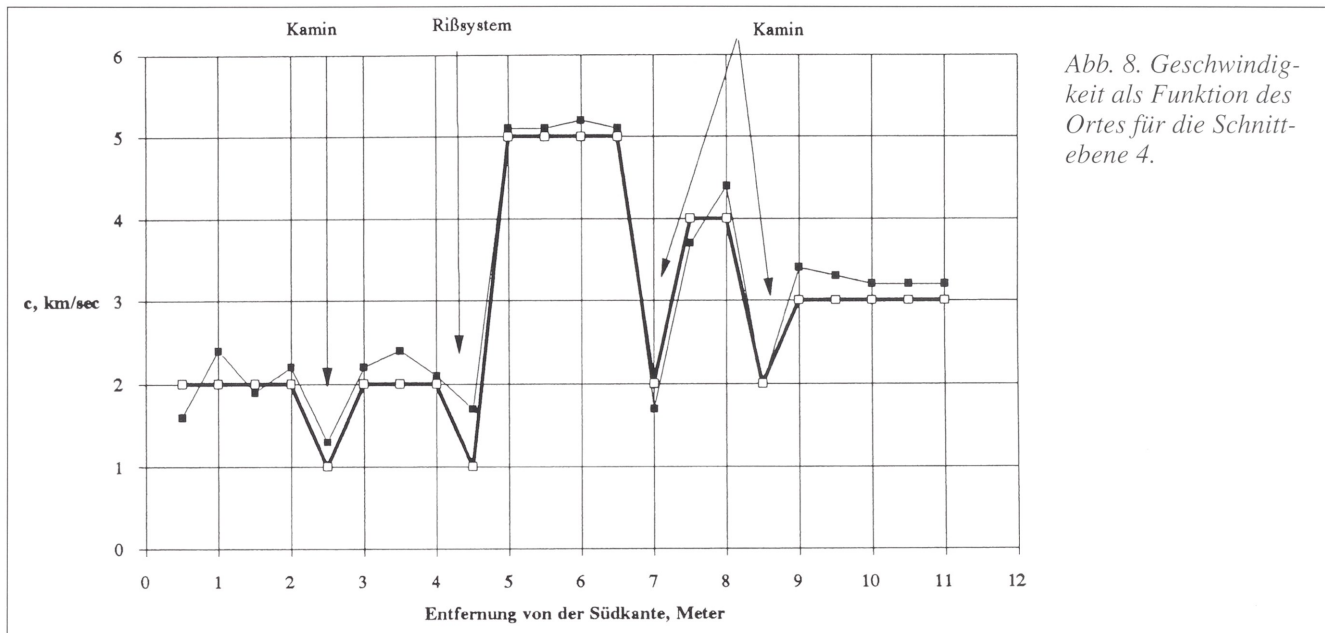


Abb. 8. Geschwindigkeit als Funktion des Ortes für die Schnittebene 4.

### III.1.e. Tomographiemessungen im südlichen Pfeiler der Ostwand

Um den oben angedeuteten zweischaligen Aufbau des südlichen Pfeilers genauer zu untersuchen, wurden nach dem Vorbild einer Computertomographie auf verschiedenen Schnitten die Laufgeschwindigkeiten durch den Pfeiler hindurch gemessen. Die entsprechenden Geschwindigkeiten wurden als Funktion des Laufweges aufgetragen. Die zugehörigen Ergebnisse sind in Abb. 10 aufgetragen. Man

erkennt trotz der bei diesem Mauerwerk zu erwartenden hohen Streuungen eine eindeutige Abnahme der Geschwindigkeit mit der Laufzeit. Das erlaubt nur den Schluß, daß für lange Laufwege, die dann notwendigerweise diagonal liegen und so das Innere erfassen, die Geschwindigkeit kleiner wird, d. h. daß in diesem Falle im Inneren die Geschwindigkeiten geringer sind als in einer äußeren Schale oder aber, anders gesprochen, daß wir es hier mit einem mehrschaligen Aufbau zu tun haben.

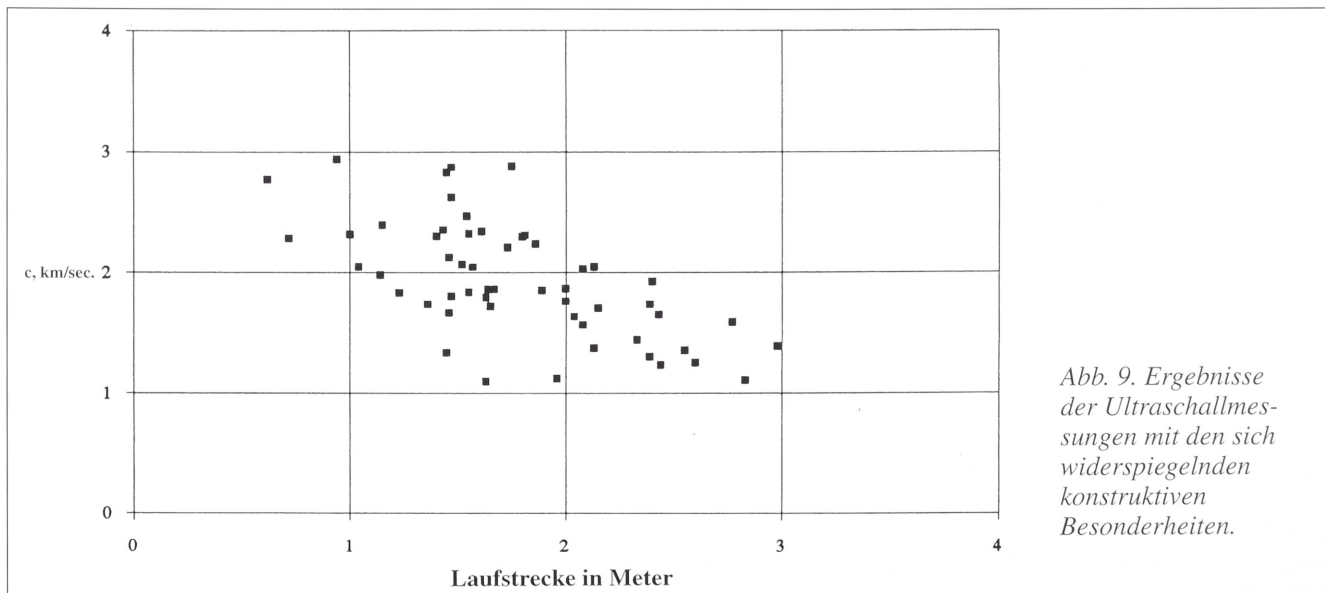
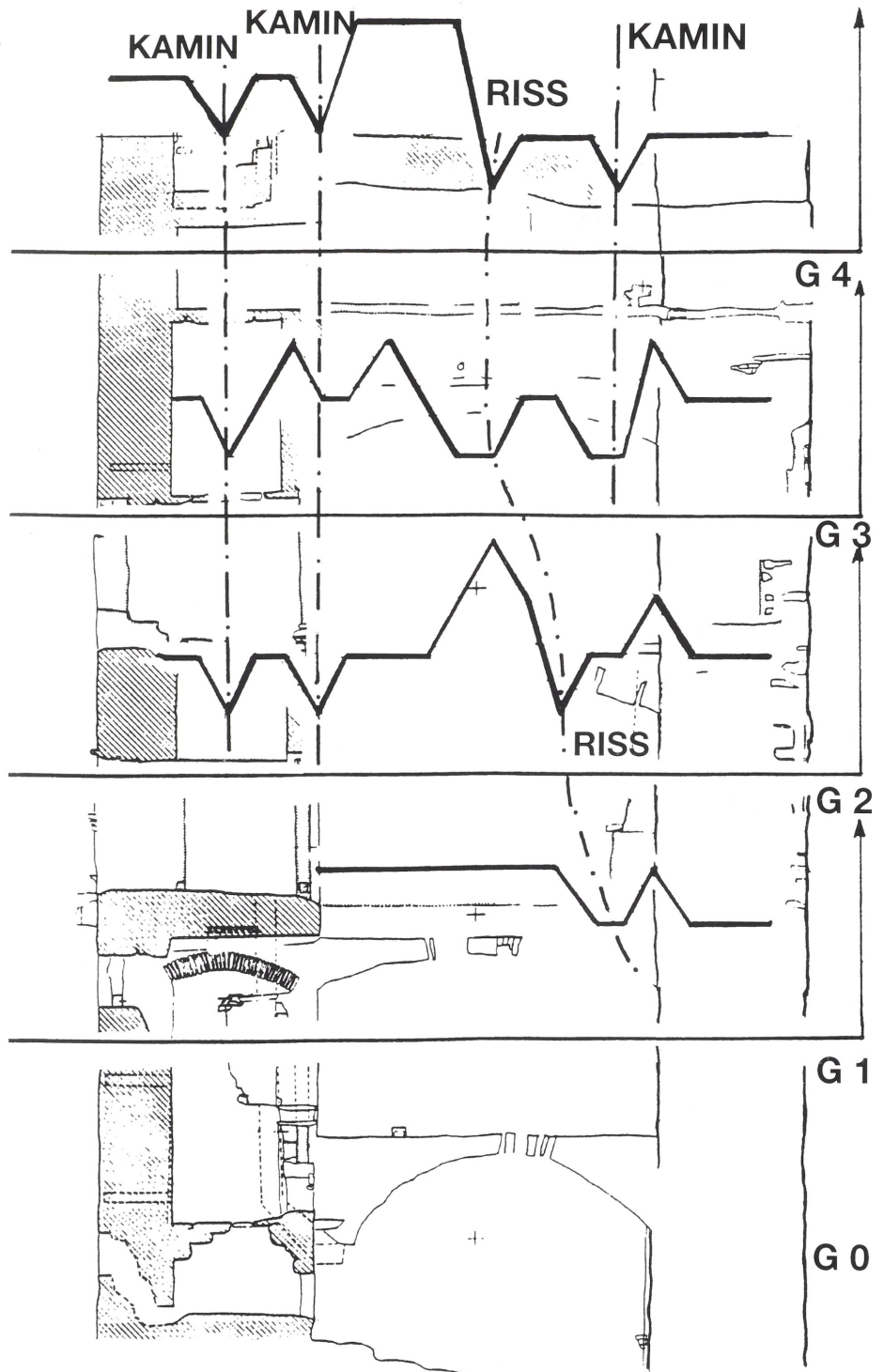


Abb. 9. Ergebnisse der Ultraschallmessungen mit den sich widerspiegelnden konstruktiven Besonderheiten.

Zum Schluß sollen noch einmal alle Ergebnisse zusammen in einem Bild dargestellt werden.

Abb. 10. Geschwindigkeit als Funktion des Laufweges für diagonale und direkte Messungen durch den südlichen Pfeiler der Ostwand.



#### IV. Ankermessungen

Wie oben beschrieben waren die Schlaudern der in neuerer Zeit eingesetzten Zuganker auf der Westwand v-förmig deformiert. Deshalb war es interessant, die durch diese Anker übertragenen Zugkräfte kennenzulernen. Zu diesem Zweck wurden die Anker, die im Innenraum auf der freien Länge zugänglich waren, durch Anschläge in Schwingungen versetzt. Die Bewegungen wurden mit Hilfe eines

Beschleunigungsaufnehmers in elektrische Signale umgesetzt, gespeichert und analysiert. Auf den sich ergebenden Spektren konnte die Zugkraft im Anker errechnet werden. Es ergaben sich folgende Kräfte:

südlicher Zuganker:	20 kN,
mittlerer Zuganker:	6 kN,
nördlicher Zuganker:	3 kN.

Dies sind Werte, die sich ebenfalls aus einer überschlägigen Statik ergeben haben. Charakteristisch ist hier, daß die in

den Anknern übertragene Kraft von Süden nach Norden abnimmt. Diese Tatsache steht in Übereinstimmung mit den Deformationen, die in der Ostmauer von Süden nach Norden abnehmen.

## V. Zusammenfassung

Aus den Beobachtungen und Körperschall-Messungen am Wohnturm der Burg Oberreifenberg ergibt sich folgendes Bild:

1. Die Ostmauer weist Schäden in ihrem Südteil auf, die nicht zu vernachlässigen sind und die, will man den Turm im jetzigen Zustand erhalten, unbedingt behoben werden müssen. Die Schäden werden verursacht durch eine Bewegung der Mauer, die – nach dem Verformungsbild der Anker zu urteilen – noch nicht zur Ruhe gekommen ist. Darauf weisen auch die relativ hohen Kräfte hin, die durch die Anker übertragen werden.
2. Die Schäden betreffen nicht nur die von außen sichtbare Rißzone, sondern auch den südlich davon liegenden Teil der Mauer.

3. Der Grund für diese Schäden, d. h. für die Bewegung der Mauer, wird aller Voraussicht nach in einer ungenügenden Gründung liegen, was aber erst nach einer genauen Fundamentuntersuchung nachzuweisen ist.
4. Als Folge der geschädigten Ostmauer zeigt auch das abschließende Gewölbe erhebliche Schäden, die durch eindringende Feuchtigkeit verschlimmert werden: Der Fugenmörtel wird ausgewaschen, was mit Sicherheit zusammen mit der noch stattfindenden Bewegung der Ostmauer auf die Dauer zum Einsturz führen muß. Wann dieses sein wird, kann nicht gesagt werden, da man den Schadensfortschritt nicht kennt.
5. Einige Beobachtungen lassen den Schluß zu, daß die Bewegung der Mauer schon im Bauzustand begonnen hat und daß man damals bereits Gegenmaßnahmen unternommen hat.
6. Kamine, Risse und Mehrschaligkeit spiegeln sich in den Ergebnissen der Körperschallmessungen sehr gut wider. Solche Körperschallmessungen sind also geeignet, verborgene Strukturen zerstörungsfrei sichtbar zu machen.

*Erwin Schwing/Kurt Ross*

## Sicherung und Sanierung von altem Stützmauerwerk durch Erdvernagelung

### Einführung

Es hat sich mittlerweile herumgesprochen: Viele alte Stützmauern bedürfen der Sanierung. Überhänge, Beulen und Risse der Mauern stechen ins Auge, doch das ist nicht immer so. Oft kommt es zu Einstürzen – auch (wohl falsch) sanierter Mauern –, bei denen keine sichtbaren Spuren zu erkennen waren.

Einer erforderlichen Therapie (Sicherung) muß, wie in der Medizin, eine umfassende Diagnose vorausgehen. Die Aufnahme der Bauwerksschäden und alte Aufzeichnungen – sofern sie vorhanden sind – leisten wertvolle Hilfe bei der Anamnese. In der Regel muß aber in jedem Einzelfall ein maßgeschneidertes Untersuchungsprogramm erarbeitet werden (1). Ein allgemeingültiges Konzept, das für alle Gebäude gleicher Bauweise gilt, kann nicht angegeben werden.

Die momentane Standsicherheit läßt sich aus geotechnischer Sicht am geeignetsten mit statistisch-probabilistischen Nachweisverfahren erklären. Ausreichende Daten müssen dazu vorliegen. Der Nachweis mit einem globalen – auf Kräfte bezogenem – Sicherheitsbeiwert ist in den meisten Fällen ungeeignet, die Standsicherheit richtig zu beurteilen (1).

Wenn Mauern gefährdet sind, ist eine Therapie erforderlich; sie sind zu sanieren. Zweck der Therapie muß sein, das Versagen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen. Ein Verfahren zur denkmalchonenden und kostengünstigen geotechnischen Sicherung ist die Vernagelung des Erdreichs hinter der Mauer. Mit Hilfe eines Sicherheitsnachweises auf statistischer Grundlage gelingt es, das Sicherheitsniveau der alten Stützkonstruktion nach der Sa-

nierung zu quantifizieren und dem von Neubauten anzugleichen (1). Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die dazu erforderlichen Kennwerte vorliegen und alle beanspruchten Bauteile ausreichende Tragfähigkeit aufweisen.

Leider ist dem nicht so beim Mauerwerk. Altes Mauerwerk läßt sich nicht in ein Norm-Korsett zwingen (2), was allerdings oft fälschlicherweise entgegen den anerkannten Regeln der Technik getan wird. Angaben über die Festigkeit sind nicht möglich, da eine Eignungsprüfung grundsätzlich nicht durchgeführt werden kann. Die Anwendung von Tabellenwerten ist nicht zulässig, da die dazu erforderlichen Voraussetzungen in keiner Weise vorliegen. Hinzu kommen zeitliche Veränderungen in der Zusammensetzung des Mörtels, z. B. durch Wasserwirkung, Verwitterung der Steine selbst und Störungen im Gefüge durch Wurzelbildung bei bewachsenen Mauern.

### Schadensbilder

Die Folgen früherer mißglückter Sanierungsversuche springen ins Auge. Falsch eingesetzte Materialien führten zu unverträglichen Mischungen, haben mittragende Steine gelöst und den Zerfall beschleunigt. Ausblühungen lassen auf mineralogisch-chemische Unverträglichkeit schließen.

Ständige Durchfeuchtung infolge Niederschlagswassers haben die ehemals kompakte mineralische Verbindung der Steine mit dem Füllmörtel im Inneren der Wand gestört; die Festigkeit des Mauerwerksverbandes nahm ab. Frostwirkungen im Kernbereich können den Zerfall beschleunigen. Beim Übergang von darin eingeschlossenem Wasser zu Eis findet eine Volumenvergrößerung statt, Steine werden ge-