

den Anker übertragenen 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-

sprengt und/oder herausgetrieben. Alle diese Prozesse überlagern sich und führen dann allmählich zu Ausbauchungen und schließlich zum Ausknicken von Mauerwerksteilen (Abplatzen).

Selbst die bei ihrer Errichtung leicht zum Erdreich hin schräg gestellten Mauern neigen sich nun zum Teil stark über die Vertikale nach vorne. Die Auslenkung wächst dabei vom Fuß der Wand nahezu linear; oft wurde an der Krone bis zu 15% der Wandhöhe gemessen (1). Aufgrund der räumlichen Tragwirkung haben diese Kopfverschiebungen bei langgestreckten Wänden im Grundriß einen in etwa parabolförmigen Verlauf. Oft in der Nähe einer steiferen Wandecke beginnend, wachsen sie mit zunehmendem Abstand an, erreichen ein Maximum und gehen dann wieder zurück. Bei kürzeren Wandabschnitten ist dieser Verlauf nicht zu erkennen. Der Überhang der Mauer ist über die ganze Wandlänge gleichmäßig. Überstände von Steinen in den einzelnen Lagerfugen sind meist nicht zu erkennen; die spätere Annahme, daß sich die Mauer als Block verhält, ist dadurch gerechtfertigt.

Hand in Hand mit den Verformungen gehen Risse in den Mauern. Deren Ausprägung hängt stark von der Festigkeit des Mauerverbandes ab. Je schwächer er ist, um so duktiler verhält sich die Mauer; bis es zur Reißbildung kommt, hat die Wand bereits große Verformungen erlitten. Weitere Verschiebungen sind dann die Ursache für ein Aufweiten der Risse. Ist der Verband fester, weist die Mauer sprödes Verhalten auf. Bei geringen Verschiebungen treten ohne Vorankündigung durchgehende Risse in der Wand auf, die selbst durch die Steine hindurch verlaufen können (1). Dieses Verhalten ist gefährlicher, da sich ein Kollaps ohne merkbare äußere Zeichen einstellen kann.

Von besonderem Interesse ist die Lage der Risse. Die Mauern haben im Grundriß selten einen geraden Verlauf; sie weisen Ecken und Rundungen auf und sind oft durch Aufgänge unterbrochen. Beim Überschreiten der – mit der Zeit

abnehmenden – Zugfestigkeiten entstehen Risse in den abseitigen Wänden. Mit der Reißbildung ist eine Lastumlagerung verbunden, das Verhalten der Mauer nähert sich ebenen Bedingungen. Gleichzeitig entstehen – genügend große Verformungen vorausgesetzt – an der Oberfläche der Hinterfüllung ebenfalls Abrißkanten. Solche Art von Rissen ist ein eindeutiges Indiz dafür, daß sich die Wand in der Nähe des Grenzzustandes der Tragfähigkeit befindet und daß sich ihr Verhalten wiederum als monolith beschreiben läßt.

Aufgrund des äußeren Erscheinungsbildes kann also nicht ohne weiteres gesagt werden, wie groß der Abstand zum Grenzzustand des Versagens ist. Weitergehende Untersuchungen sind dringend erforderlich.

Mechanismen

Dieser Beitrag beschränkt sich auf Mechanismen, die geotechnisch erklärt werden können. Andere Mechanismen betreffen Bauteile und seien hier nur kurz erwähnt. Durch Zerfall und Erosion des Mörtels (selten auch der Steine) kann das Mauerwerk so schwach werden, daß es sich stark verformt oder bricht. Dann ist eine schonende Injektion angebracht. Die Injektion kann aber zu weiteren Versagensmechanismen führen. Schon die Erschütterungen beim Bohren können loses Mauerwerk zu Bruch bringen. Spülen und Einpressen können zum hydraulischen Bruch führen. Unverträgliche Mischungen können mittragende Steine her austreiben und den Zerfall sogar beschleunigen.

Ein allmähliches Versagen des Bodens ist denkbar, aber bei alten Stützmauern wohl auszuschließen. Der Boden wurde ja schon so lange beansprucht, daß er sich kaum weiter verschlechtern kann. Vorauszusetzen – und in Zweifelsfällen nachzuweisen – ist aber, daß die Entwässerung des Bodens nach der Sanierung nicht schlechter als vorher ist, sondern allenfalls besser. Auch Frost- und Trocknungsschäden werden hier nicht behandelt.

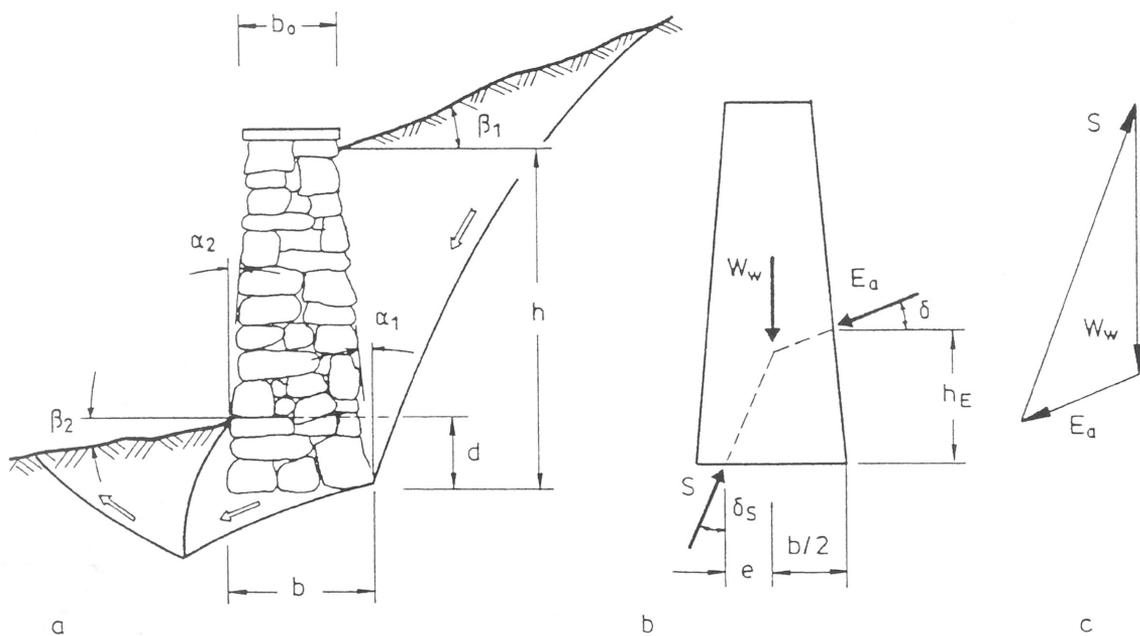


Abb. 1. Versagensmechanismus einer unverstärkten Mauer.
(a) System, (b) Kräfte, (c) Kräfteck

Unverstärkte Mauer

Wenn eine sogenannte Gewichtsmauer in sich heil bleibt, kann sie als Monolith versinken, abgleiten oder kippen. Bei rauher Rückseite und Sohle ist bevorzugt ein kombinierter Bruch zu erwarten, bei dem gekrümmte Gleitflächen im Boden auftreten (Abb. 1a).

Im Grenzzustand stehen drei Kräfte im Gleichgewicht (Abb. 1 b und c):

- das Mauergewicht W_w , aus Wichte γ_m und Abmessungen h , b , b_o leicht zu berechnen;
- der aktive Erddruck E_a in der Höhe h_E , aus Wandhöhe h , Erddruckneigung δ_a , Bodenwichte γ , Reibungswinkel φ und Kohäsion c zu berechnen;
- der Sohlwiderstand S mit Neigung δ_s und Exzentrizität e , aus Sohlbreite b , Einbindetiefe d , Bodenwichte γ , Reibungswinkel φ und Kohäsion c zu berechnen.

In der Praxis hat sich die Erddruckberechnung mit Näherungsverfahren, die sich auf ebene Gleitflächen beschränken, durchgesetzt. Mit der Formel von Groß (3) liegt dafür eine exakte Lösung bei Böden mit Reibung und Kohäsion vor. Vergleichsrechnungen (1) zum aktiven Erddruck zeigen, daß wesentlich aufwendigere Berechnungsverfahren mit gekrümmten und/oder gebrochenen Gleitflächen (z. B. nach DIN 4085, Beiblatt) nahezu zu den gleichen Ergebnissen führen wie die Formel von Groß. Bei der Ermittlung des

aktiven Erddrucks in der Grenzbedingung wird diese zugrundegelegt.

Da sich an oder bei der rauhen Wandrückseite eine Gleitfläche bildet, darf man $\delta_a = \varphi$ annehmen (1). $h_E = h/3$ ist nur bei $c = 0$ theoretisch begründet, wird aber auch sonst angenommen. Lage und Neigung von S , also e und δ_s ergeben sich statisch aus E_a und W_w .

So bleibt als Bedingung für das Grenzgleichgewicht, daß die Resultierende aus E_a und W_w ebenso groß wie die Grundbruchlast S ist. Zur Beschreibung der Tragfähigkeit des Untergrundes werden die Formeln der DIN 4017 herangezogen.

Der Mechanismus von Abb. 1 ist mit ausreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen, wenn die Grenzbedingung auch mit passend abgeminderten Widerständen nicht verletzt ist. Dazu dienen Teilsicherheitsbeiwerte, die sich nach dem relativen Gewicht des Widerstandes, seinem Variationskoeffizienten und dem geforderten Sicherheitsindex richten (5). Dieselbe Sicherheit wie bei Neubauten nach heutigem Stand wird erreicht, wenn man den Reibungswert mindestens durch 1.20 und die Kohäsion durch 1.8 dividiert (1). Wenn die Mauer offensichtlich nahe dem Mechanismus von Abb. 1 ist, sollte man besser „Sicherheit 1“ annehmen und daraus die mittleren Scherparameter rückrechnen. Auf dieser Grundlage ist dann die Sicherung ausreichend zu dimensionieren. Dieser Gedanke entspricht der „relativen Sicherheit“ im Sinne Piepers (8).

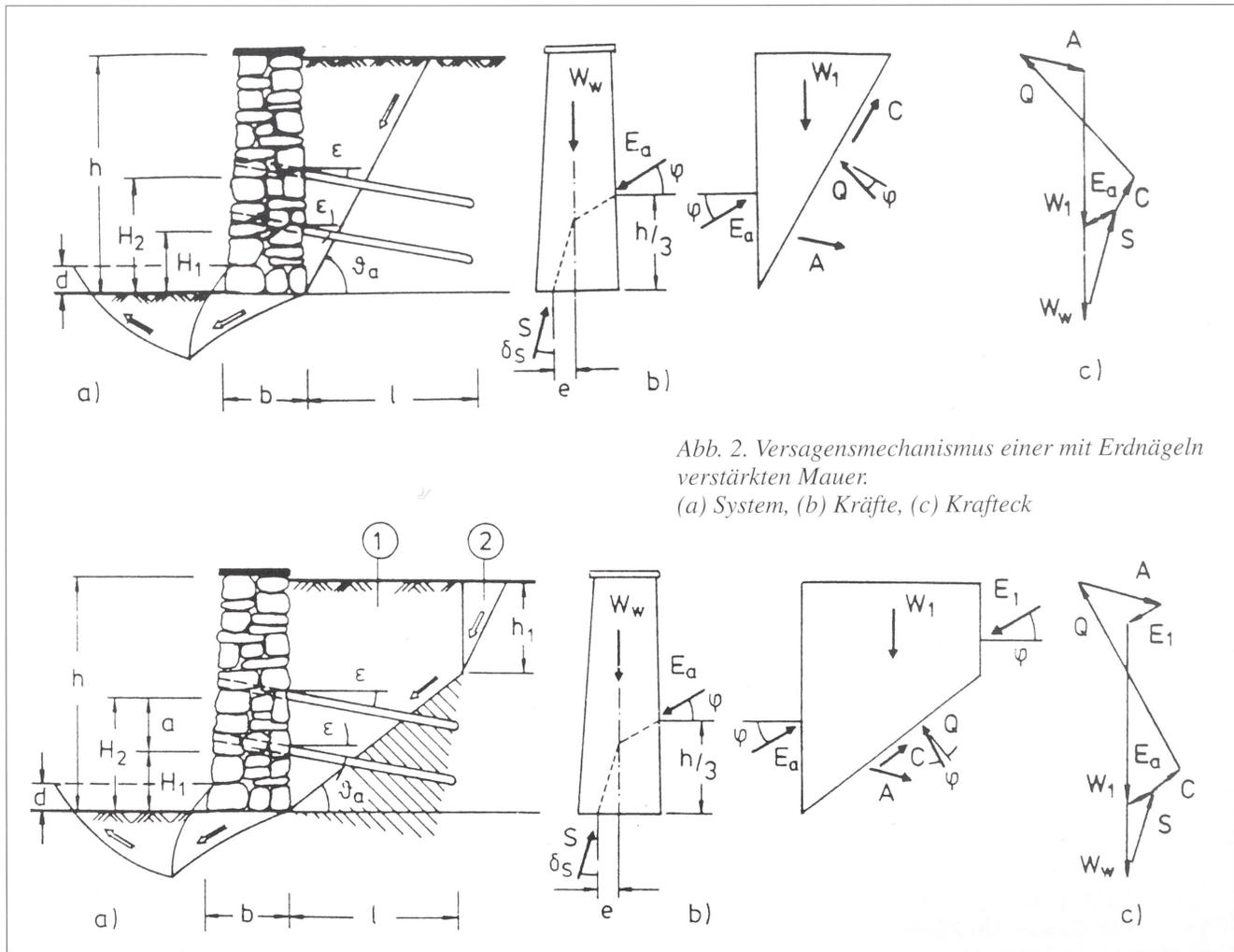


Abb. 2. Versagensmechanismus einer mit Erdnägeln verstärkten Mauer.
(a) System, (b) Kräfte, (c) Kräfteck

Erdvernagelte Mauer

Wenn die Mauern nicht ausreichend standsicher sind, muß die Belastung aus Erddruck auf sie reduziert werden. Zur Belastungsminderung wird das Verfahren der Erdvernagelung gewählt. Die Grundlagen zum Tragverhalten vernagelter Erdkörper sind von Gäbler (4) ausführlich beschrieben worden. Es wurden dort verschiedene theoretische Bruchtypen untersucht, in Modellversuchen geprüft und durch Großversuche verifiziert. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit kann vereinfacht mit Translationsmechanismen aus einem bzw. zwei starren Körpern (Abb. 2) wiedergegeben werden.

Es bildet sich ein sogenannter zusammengesetzter Bruchmechanismus aus zwei kombinierten Teilsystemen, einem mit Bodennägeln verstärkten Erdkörper und der Mauer auf nachgiebigem Untergrund, d. h. Grundbruch unter schräger außermittiger Last (Abb. 2 a und b). Die Grenzzustandsgleichung wird aus dem Gleichgewicht aller Kräfte formuliert. Es stehen im Grenzzustand drei Kräfte im Gleichgewicht, die sich in einem Punkt schneiden:

- Das Mauergericht W_w und der Sohlwiderstand S sind wie zuvor zu berechnen;
- der durch die Bodennägel verminderte aktive Erddruck E_a in der Höhe $h/3$, aus dem Gewicht W_l des Teilkörpers I, der Kohäsionskraft C , der Resultierenden aus Druck und Reibung Q und dem Nagelwiderstand A ist mit der Neigung ε zu ermitteln.

Sind die Nagelanordnung und der Auszieh Widerstand bekannt, ergibt sich der maximale Erddruck E_a auf die Mauer durch die Variation der Neigung ϑ_a der Gleitfuge des Teilkörpers I. Die Nägel sind in H_i angeordnet. Ihr Widerstand A ergibt sich aus der Anzahl n der Nägel, die die Gleitfläche schneiden. Mit der Verankerungslänge l_i hinter der Gleitfläche und dem Herauszieh Widerstand (Haftreibung Boden/Nagel) T_m je lfd. m Nagel wird der Beitrag des Einzelnagels i erhalten.

Für das Grenzgleichgewicht bleibt wieder die Bedingung, daß die resultierende Last aus dem durch die Bodennägel abgeminderten Erddruck E_a und dem Mauergericht W der Grundbruchlast S des Untergrundes entspricht.

Unter Verwendung dieser Grenzzustandsbedingung wurden Modellversuche durchgeführt (1). Neben der Bestätigung der Bruchgeometrie sollte insbesondere der Ansatz der Erddruckresultierenden im Wandmittelpunkt überprüft werden. Die Ergebnisse aus den Versuchen haben gezeigt, daß die Neigung δ der Erddruckresultierenden E_a dem Reibungswinkel φ entspricht. Der resultierende Erddruck der unverstärkten Mauern greift in etwa im Wandmittelpunkt an. Die Nägel werden i. a. annähernd symmetrisch zu diesem Angriffspunkt angeordnet ($0,2 h \leq h_i \leq 0,50 h$). Anzahl und Lage der vertikalen Nagelreihen sind im Einzelfall aber auf die tatsächliche Mauerhöhe abzustimmen. Eine Sicherung im oberen Wandbereich ist aus geotechnischen Gründen nicht erforderlich.

Soll die Mauer ganz vom Erddruck entlastet werden, muß sie sich nur noch selbst tragen. Es sind dann zwei voneinander unabhängige Grenzzustände zu betrachten. Für den vernagelten Bodenkörper gelten dann die Ausführungen von Gäbler (3) uneingeschränkt.

Standsicherheit

Bisher fehlte ein objektives, bauwerkübergreifendes Sicherheitsmaß. Mit den „Grundlagen zur Festlegung von

Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ (GruSi-Bau) liegt seit 1981 eine Richtschnur für bauartübergreifende Sicherheitsuntersuchungen vor.

Einen Vorschlag von Gudehus (5) aufgreifend, werden Teilsicherheitsbeiwerte vereinfacht wie folgt angenommen: Alle drei streuende Größen (Reibungswinkel φ , Kohäsion c und Herauszieh Widerstand T_m) haben denselben Einfluß auf den Grenzzustand. Die Wichtungsfaktoren α_φ , α_c und α_r , die die Empfindlichkeit in der Grenzbedingung bezgl. der einzelnen streuenden Größen widerspiegeln (6), werden zu $\alpha_i = 1/\sqrt{3}$ gesetzt. Mit einem geforderten Sicherheitsniveau β (β steht hier für den Sicherheitsindex. Zwischen β und der Versagenswahrscheinlichkeit besteht ein eindeutiger Zusammenhang (6)) und den als bekannt vorausgesetzten Variationskoeffizienten V_i der Basisvariablen erhält man für lognormalverteilte Basisvariable (7) nach Gudehus (5) ausreichend genau $\gamma_i = \exp[\beta \alpha_i V_i]$. Mit den mittleren Variationskoeffizienten, die selbstverständlich durch Untersuchungen zu belegen sind, $V_\varphi = 6,25\%$ für den Reibungswinkel, $V_c = 17,5\%$ für die Kohäsion und $V_T = 15\%$ für den Herauszieh Widerstand erhält man daraus mit dem in den „GruSiBau“ geforderten Sicherheitsindex von $\beta = 4,7$ für den Grenzzustand der Tragfähigkeit: $\gamma_\varphi = 1,18$, $\gamma_c = 1,6$ und $\gamma_T = 1,50$. Gewählt werden $\gamma_\varphi = 1,15$, $\gamma_c = 1,6$ und $\gamma_T = 1,50$. Sie sind auf die Mittelwerte zu beziehen und den Berechnungen der verstärkten Mauern zugrunde zu legen. Wie Vergleichsberechnungen zeigen (1), kann mit der Wahl dieser konstanten Teilsicherheitsbeiwerte ein ausreichend homogenes Sicherheitsniveau erreicht werden. Abweichungen von einem vorgegebenen Sicherheitsmaß nach oben oder unten sind jedoch unvermeidlich.

Bauteilversuche

Herauszieh Widerstand

Zur Ermittlung der Haftreibung zwischen Boden und Nagel müssen Probelastungen an eingebauten Erdnägeln bis zum Grenzzustand vorgesehen werden. Der Verbund zwischen Nagel und Boden wird durch Verpressen verbessert und gleichmäßig. Der mittlere Auszieh Widerstand ergibt sich durch die Probelastung zuverlässiger als durch Übernahme von anderen Stellen. Je mehr Zugversuche vor Ort gemacht werden und je gleichmäßiger der Boden angegriffen wird, desto geringer darf der Teilsicherheitsbeiwert für den Auszieh Widerstand angesetzt werden. Grundsätzlich ist jedoch eine Verknüpfung von Vorinformationen – aus ähnlichen Bodenverhältnissen – und den aktuellen Daten möglich (8). Nach diesem Befund kann man während der Sicherung umdimensionieren, also z. B. die Nägel verkürzen.

Nach den deutschen Zulassungsbestimmungen sind mindestens drei Nägel bzw. 3% aller eingebauten Nägel auf die Herauszieh Widerstände der Nägel zu prüfen. Die Nägel werden stufenweise bis zur Grenzlast gezogen. Die Grenzlast ist als diejenige Kraft definiert, bei der Verschiebungen ohne weitere Lasterhöhung auftreten. Nach einer Kraftreduzierung wird durch eine erneute Krafterhöhung praktisch dieselbe Grenzlast wieder erreicht (1): ein wichtiges Ergebnis. Auch die bis zur Grenzlast getesteten Nägel dienen also weiterhin als Unterstützung der Mauern.

Nagelkopfkraft

Ein Hauptproblem bei der Vernagelung einer alten Stützmauer stellt der Anschluß der Nägel an die Wand dar. Um

den Sanierungserfolg zu gewährleisten, müssen die Kräfte am Nagelkopf ausreichend sicher eingeleitet werden. Der Anschluß kann verschieden ausgebildet werden. Die sonst bei der Bodenvernagelung übliche Außenhaut aus Beton scheidet aus denkmalpflegerischen Gründen von vornherein aus. Auch andere Befestigungselemente an der Außenfassade sind aus optischen Gründen zu vermeiden. Um keine sichtbaren Spuren zu hinterlassen, können die Nägel somit nur in oder hinter der Wand verankert werden.

Es fällt schwer, die Nägel in der Mauer selbst genügend herausziehsicher einzubinden, obwohl Mauerwerk eine seit Jahrhunderten bewährte Bauweise ist. Die ingenieurmäßige Bemessung mit Berechnungsverfahren nach DIN 1053 Teil 1 und 2 zur Ermittlung der zulässigen Scher- bzw. Schubspannungen ist nicht zulässig, da zum einen keine Angabe über die Mauerwerksfestigkeit möglich und zum anderen eine Güteüberwachung der Baustoffe nicht gegeben ist.

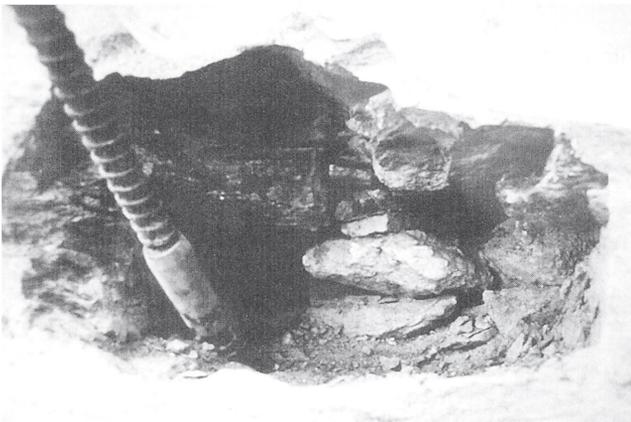


Abb. 3. Unzulässige Nagelkopfverankerung.

Abb. 3 zeigt ein Negativ-Beispiel der Nagelkopfverankerung. Obwohl das Mauerwerk zuvor im Bereich des Nagelkopfes verpreßt wurde, sind noch viele große Hohlräume vorhanden, in denen eine Kraftübertragung ausgeschlossen ist. Die Voraussetzungen zur Anwendung tabellierter Normwerte sind also in keiner Weise erfüllt:

- Die Zusammensetzung des historischen Mörtels ist vollkommen unbekannt. Alter Mörtel besitzt keinen Zementanteil, seine Festigkeit läßt sich nicht bestimmen; er kann und darf nicht einer Mörtelgruppe nach DIN 1053 zugeordnet werden,
- ein gleichmäßiges Mauerwerk (sog. Rezeptmauerwerk) ist nicht vorhanden, eine Eignungsprüfung unmöglich. Zudem können in den Stoßfugen des Mauerwerks keine Schubkräfte übertragen werden, und es kann aufgrund der vorhandenen Hohlräume keine Aussage über die mittragenden Bereiche gemacht werden. Wendet man Berechnungsverfahren dennoch an, verletzt man bewußt die „Anerkannnten Regeln der Technik“. Werden Verankerungen im Mauerwerk vorgesehen, muß eine Tragfähigkeitsprüfung in Form von Bauteilversuchen vorgesehen werden. Das Tragverhalten ist durch Probelastungen zu ermitteln. Die dabei aufgebrachten Kräfte müssen dem tatsächlichen Kraftverlauf in Betrag und Richtung entsprechen und vom Mauerwerk sicher aufgenommen werden können.

Auch die Anordnung von Verankerungselementen im Mauerwerk ist problematisch. Eine ingenieurmäßige Bemessung der Tragfähigkeit ist weder zulässig noch möglich, da Art und Zustand des Mauerwerkverbandes unbekannt sind. Zudem ist zum Einbau solcher Elemente ein großer Teil der Wandansichtsfläche zuvor auszubereiten: eine Vorgehensweise, bei der vorhandene Bausubstanz zerstört wird. Ein enges Nagelraster und/oder großformatige Steine können somit leicht zum Gesamtabbruch der Fassade führen.

Schonender sind Nagelköpfe hinter der Mauer nach dem Patent der Fa. Bausanierungstechnik; wie bei einem Zimmermannsnagel erhält der Stahlstab einen Nagelkopf im Übergangsbereich Mauer/Hinterfüllboden. Teile des Bodens hinter der Wand werden mit Wasserdruck ausgespült. Es entsteht ein Hohlraum, der im Zuge der Verpressung der Nägel mit Zementmörtel wiederverfüllt wird. Die Abmessungen dieses Elementes ergeben sich aus dem inneren Standsicherheitsnachweis nach DIN 1045 und DIN 1054. Sie sind von dem Zustand und der Festigkeit des Mauerwerkverbandes vollkommen unabhängig und ergeben sich nur aus der Tragfähigkeit des Hinterfüllbodens und der der neu eingebrachten Materialien.

In Bauteilversuchen wurden zwei Verankerungsdetails überprüft (Abb. 4); das vorhandene Mauerwerk war zuvor im Bereich der Verankerungselemente sorgfältig vermörtelt worden. Mit Hilfe einer Kolbenpresse und einem Abstandhalter wurde die Last auf die eingebauten Verankerungselemente aufgebracht. In den Bauteilversuchen wurde stufenweise bis zum Erreichen des Grenzzustandes belastet.

Für Detail (a) war ein bewehrter Mörtelpfropfen mit einem Durchmesser von 90 mm über die gesamte Wandstärke eingebaut worden. An seinem erdseitigen Ende waren, um einen Kontakt mit der Hinterfüllung auszuschließen, Weichschichten eingebaut. Ein mittig eingelegter Bewehrungsstab konnte zur Justierung herangezogen werden, eine axiale Krafteinleitung war damit sichergestellt. Bei Detail (b), der Nagelkopfverankerung nach dem patentierten Ver-

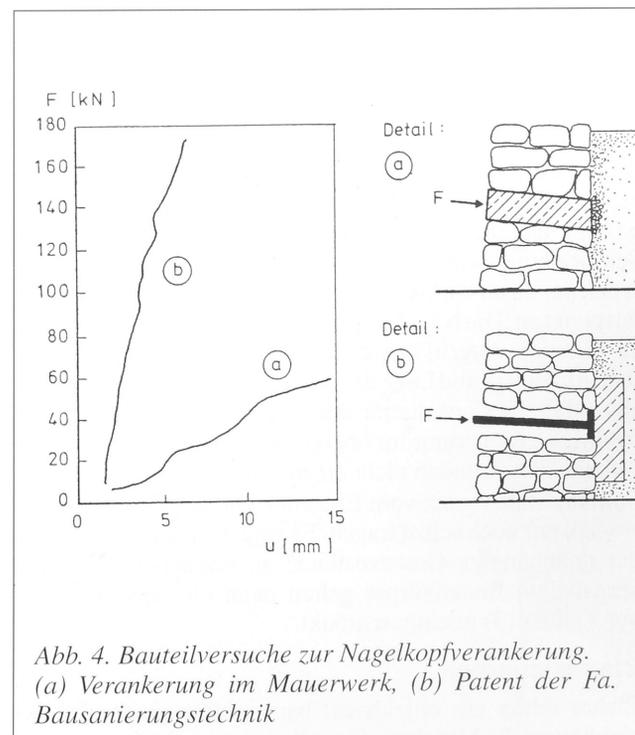


Abb. 4. Bauteilversuche zur Nagelkopfverankerung. (a) Verankerung im Mauerwerk, (b) Patent der Fa. Bausanierungstechnik

fahren, war hinter der Wand ein Hohlraum von 70 cm Durchmesser mit Wasserstrahl ausgespült worden. Die Stärke dieses Elementes wurde in Anlehnung an DIN 1045 für unbewehrte Fundamente mit 35 cm gewählt. Der entstandene Hohlraum wurde mit einem Zementmörtel verpreßt, seine Festigkeit entsprach in etwa B 15. Ein Versagen im Betonquerschnitt sollte vermieden werden.

Abb. 4 zeigt die Versuchsergebnisse. Dargestellt sind über den bereinigten, absoluten Verschiebungen der Verankerungsdetails die zugehörigen Kräfte.

Bei Detail (a) wurde der Grenzzustand der Tragfähigkeit bei einer Last von 52 kN erreicht. Mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 2,5 beträgt die zulässige Last nur 20 kN, während nach der statischen Berechnung hier eine maximale Kopfkraft von 60 kN zu verankern war. Maßgebend für die Bemessung wird also der Anschluß der Nägel in der Wand; es werden dreimal mehr Nägel als für den äußeren Standsicherheitsnachweis erforderlich. Der Verlauf des Versuches Detail (b) ist wesentlich verschieden. Er mußte infolge der zu großen Verformungen der Widerlagertraverse vorzeitig abgebrochen werden. Die Last-Verformungslinie zeigt bis zum Abbruch einen nahezu linearen Verlauf, ein Einschwenken auf eine horizontale Tangente ist nicht zu erkennen. Es kann daher nicht gesagt werden, wie groß der Abstand zum Grenzzustand der Tragfähigkeit ist. Legt man die hier gemessene maximale Kraft von 170 kN zugrunde, ergibt sich mit dem o. g. Teilsicherheitsbeiwert ein zulässiger Wert von 68 kN. Dieser ist größer als der erforderliche aus der globalen Standsicherheitsanalyse, der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit ist erbracht. Wie zudem der Vergleich der Arbeitslinien zeigt, sind bei der Verankerung im Mauerwerk auch wesentlich größere Verschiebungswege bis zum Erreichen des Grenzzustandes erforderlich.

Sanierungsverfahren

Wie bereits erwähnt, ist für jedes Bauwerk ein maßgeschneidertes Sanierungskonzept zu entwerfen und zu bemessen. Die Beurteilung der momentanen Situation muß unter Berücksichtigung vorgefundener Schadensbilder, gemachten Untersuchungen vor Ort und im Labor und *subjektiver Beurteilung* des Untersuchenden – persönliche Erfahrung fließt ein – erfolgen. Dies gilt z. B.

bei der Beurteilung des Mauerzustandes im Wandinneren und insbesondere bei der Frage, ob während der Sanierungsarbeiten eine Hilfskonstruktion notwendig wird oder nicht.

Bisher hat sich folgendes Vorgehen bei der Sanierung historischer Gewichtsmauern aus Naturstein bewährt:

- Zunächst sind der vorhandene lose Fugenmörtel und/oder der Bewuchs der Ansichtfläche zu entfernen. Nach vorsichtiger Reinigung der Steinoberfläche nur in den Stoß- und Lagerfugen zur Erzielung einer sauberen Kontaktfläche – wird der neue Fugenmörtel maschinell vollflächig aufgebracht. Nach kurzer Abbindezeit werden die Steinflächen von überschüssigem Material mit Wasserstrahl befreit.
- Die bisherige Erfahrung zeigt, daß der Zustand des Mauerwerkverbandes bei den meisten alten Mauern mehr als schlecht zu beurteilen ist. Zur Verbesserung des Mauerwerkverbandes werden daher die Hohlräume im Mauerwerk verfüllt. Eine nur qualitative – nicht quantifizierbare – Verbesserung ist durch die Vermörtelung des Mauerwerks zu erreichen. Unter geringem und kontrolliertem Druck wird ein hochfließfähiger und schwindarmer Mörtel verpreßt. Als Verpreßgut (und für den Fugenmörtel) haben sich einige Traßkalke bewährt, die mit den vorhandenen Materialien mineralisch verträglich sind. Ausblühungen können bei Zutritt von Feuchtigkeit nicht sicher ausgeschlossen werden, da durch die Verwitterung der Zuschlagstoffe des Altmörtels Komponenten, die Salze aufbauen, freigesetzt werden.
- Zum Schluß werden statisch erforderliche Verstärkungsmaßnahmen durchgeführt. Nagellängen und -anordnung sind, um die Eingriffe so gering wie möglich zu halten, zu optimieren (d. h. eine einzige Berechnung genügt i. a. nicht). Der dabei zugrundegelegte Herauszieh Widerstand der Nägel ist durch Probelastungen zu bestätigen. In der Berechnung angenommene, nicht nachweisbare und/oder belegbare Rechenannahmen sind durch Bauteilversuche zu erbringen.

Beispiele

Die Bilddokumentation zeigt einige Objekte aus der Praxis, die so gesichert und saniert worden sind, wie es zuvor dargestellt wurde.



Abb. 5. Schloß Idstein. Links vor der Sanierung und rechts nach der Sanierung (Fotos: Verff.).



Abb. 6. Pliezhausen. Links vor der Sanierung und rechts nach der Sanierung (Fotos: Verff.).

Abb. 7. Balingen. Links vor der Sanierung und rechts nach der Sanierung (Fotos: Verff.).



Literaturhinweise

- (1) *Schwing, E.*: Standsicherheit historischer Stützwände (Veröff. d. Inst. f. Bodenmechanik u. Felsmechanik d. Univ. Fridericiana in Karlsruhe, H. 121), Karlsruhe 1990.
- (2) *Ullrich, M.*: Injizieren und Vernadeln, in: *Baugewerbe* 22/91.
- (3) *Gäßler, G.*: Vernagelte Geländesprünge – Tragverhalten und Standsicherheit (Veröff. d. Inst. f. Bodenmechanik u. Felsmechanik d. Univ. Fridericiana in Karlsruhe, H. 108), Karlsruhe 1987.
- (4) *Groß, G.*: Korrekte Berechnung des aktiven Erddrucks mit ebener Gleitfläche bei Böden mit Reibung, Kohäsion und Auflast, in: *Geotechnik* 4/1981, S. 66–69.
- (5) *Gudehus, G.*: Sicherheitsnachweise für Grundbauwerke, in: *Geotechnik* 10/1987, S. 4–34.
- (6) *Hasofer, A. M./Lind, N. C.*: Exact and Invariant Second-Moment Code Format, in: *Journ. Eng. Mech. Div. ASCE*, Vol. 100/1974, EMI, p.111.
- (7) *Ang, A. H-S./Tang, W. H.*: *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Vol. 1+2, New York 1975.
- (8) *Schwing, E./Gudehus, G.*: *Soil Nailing – Design and application to modern and ancient retaining walls*, Theory and practice of earth reinforcement, IS Kyushu, Japan 1988.

Norbert Müller

Gründungsanierung historischer Gebäude im Lockergestein – Schadensursachen, Sanierungstechniken, Fallbeispiele

1. Einleitung

Nach einer Schätzung von Pieper (1983) sind etwa 80% der heute an historischen Gebäuden zu behebenden Schäden auf eine unzureichende Gründung zurückzuführen. Wesentlicher Bestandteil der Standfestigkeitsbeurteilung eines historischen Gebäudes ist daher die Überprüfung der vorhan-

denen Gebäudegründung und der Tragfähigkeit des Baugrundes.

Bei der Schadensbeurteilung von alten Gebäuden ist es erforderlich, das tatsächliche Verhalten von Baugrund und Bauwerk festzustellen. Ein Vergleich des Verhaltens von