

Geotechnische Untersuchungen an historischen Bauwerken

Geotechnical investigations on historical buildings

Mit 4 Abbildungen

GÜNTER HEISE

Zusammenfassung: Eine sinnvolle Sanierung historischer Bausubstanz setzt die Überprüfung von Gründungskörper und Baugrund voraus, insbesondere wenn Umnutzungen vorgesehen sind. Die Vielfalt der Gründungsmethoden und -materialien historischer Bauwerke einerseits und der erforderliche schonende Umgang mit historischer Bausubstanz andererseits erfordern neue Untersuchungsmethoden. Bei Tragfähigkeitsuntersuchungen müssen die langfristig erfolgten Veränderungen von Baugrund und Bauwerk berücksichtigt werden. Dementsprechend werden zuerst die Besonderheiten historischer Gründungskörper umrissen. Danach werden häufig auftretende baugrundbedingte Gründungsschäden und moderne Untersuchungsmethoden beschrieben. An mehreren konkreten Objekten werden Gründungsschäden als Folge langfristig wirkender geologischer Prozesse erläutert.

Abstract: It is not possible to carry out effective restoration of historical buildings, particularly when they are going to be put to new use, without first investigating the foundations and the underlying geology. The variety of methods of constructing foundations and the many different materials used, as well as the necessity to treat historical buildings with the utmost care, require new methods of investigation. Assessments of bearing capacity must take into account the long-term changes that have taken place in the foundation conditions and the buildings themselves over the past centuries. The characteristic features of historical foundations are first described. The most common types of foundation damage caused by subsurface changes are then dealt with, and modern methods of investigation are explained. Foundation damage as a result of long-term geological processes is illustrated by means of several actual examples.

1 Einleitung

Ostdeutschland besitzt eine Vielzahl bedeutsamer historischer Bauwerke. Kriege und vor allem die Verwahrlosung in der Nachkriegsära haben zu erheblichen Schäden der historischen Bausubstanz geführt. Mit der Rekonstruktion dieser Bauwerke ist sofort nach der Wiedervereinigung Deutschlands begonnen worden. Die Sanierung der Gründungen ist dabei eine Grundvoraussetzung für die Gesamt-rekonstruktion der Gebäude.

Schäden an historischen Bauwerken sind in der Regel komplexer Natur. Neben Schadensursachen, die aus boden- und felsmechanisch erklärbaren Schwächen des Baugrundes, der Hydrologie, Gründung, Konstruktion, Bauwerksalterung und späteren Eingriffen in Baugrund und Bauwerk herrühren, treten auch Bauwerksschäden als Folge langfristig wirkender geologischer Prozesse wie Verwitterung, unterirdische Erosion und Massenbewegungen an Hängen und Böschungen, in Deutschland untergeordnet auch als Folge endogener Prozesse wie rezente Krustenbewegungen und Erdbeben, auf. Da diese Prozesse für das menschliche Zeitempfinden sehr langsam und dazu manchmal noch weit entfernt vom eigentlichen Gründungsbereich ablaufen, werden sie als mögliche Schadensursache im Bauwesen häufig übersehen,

zumal sie sich gegenseitig überlagern und rechnerisch schwer erfaßbar sind. Neben der geotechnischen Modellierung des Baugrundes im Rahmen der geologisch, hydrologisch, boden- bzw. felsmechanischen komplexen Baugrunduntersuchung ist die Diagnose und Prognose derartiger geotechnischer Prozesse eine Hauptaufgabe der Geotechnik bei der Sicherung und Sanierung historischer Bauwerke. Die Arbeitsmethodik besteht, aufbauend auf einer geologisch-historischen Recherche und daraus abgeleiteter Grobmodellierung des Bauwerksuntergrundes und seiner weiteren Umgebung, in der geologisch-geotechnischen Dokumentation natürlicher und möglichst weniger, die historische Bausubstanz schonender künstlicher Aufschlüsse unter Einbeziehung geophysikalischer Erkundungsverfahren und einer meßtechnisch unterstützten Beobachtung von Verformungen im Baugrund und am Bauwerk. Die komplexe räumliche und zeitliche Erfassung der Einflußfaktoren soll eine zielgerichtete Diagnose der vorhandenen Bauwerksschäden und eine Prognose des wahrscheinlichen Schadensverlaufes ermöglichen. Darauf aufbauend können dann bauwerksschonende Sanierungsvorschläge abgeleitet werden.

2 Historische Gründungen

Die folgenden Ausführungen beziehen sich hier auf Bauwerke, die in Deutschland vom Mittelalter bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts errichtet wurden. In Ausnahmefällen müssen auch römische oder slawische Gründungsreste mit einbezogen werden. Prähistorische Siedlungsspuren sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Mittelalterliche Gründungen in Deutschland bauen nachweislich auf den Erfahrungen der Römerzeit auf. Insbesondere in Holzgründungen Norddeutschlands dürften Elemente und Erfahrungen von Slawen und Germanen eingeflossen sein (STANZL 1994). Flachgründungen wurden als Einzel- und Streifenfundamente aus Bruchstein-, Feldstein- und Ziegelmauerwerk errichtet (Abb. 1). Insbesondere die unteren Lagen sind häufig unvermörtelt. Weit verbreitet ist Schalenmauerwerk, was statische Nachweise enorm erschwert (Abb. 2). Bei schlecht tragfähigem Baugrund wurde das Gründungsmauerwerk auf parallele Holzlagen (Schleten) oder Holzroste gesetzt (Abb. 3). Zur Aussteifung und Lastverteilung wurden zwischen Pfeiler- und Streifenfundamenten auch Fundamentbögen (Contrebögen) gemauert. Teilweise wurde unter die Fundamente eine Ausgleichsschicht aus gestampftem Lehm, vermischt mit Holzkohle, eingebracht. Bei schlecht tragfähigem Baugrund sind tiefer reichende Pfeilergründungen und Holzpfehlgründungen verbreitet. Kurze Pfähle wurden dabei eng nebeneinander gesetzt (Spickpfähle) und mit Schwellbalken oder Rosten versehen. Bei tiefreichendem schlechten Baugrund wurden Einzelfehlgründungen häufig nur schwebend ausgeführt.

3 Gründungsschäden historischer Gebäude

So vielfältig wie Form, Aufbau und Materialzusammensetzung der Gründungskörper selbst sind auch die Schadensmöglichkeiten und -ursachen. Bei historischen Bauwerken muß vor allem die Langzeitwirkung exodynamischer, lokal auch endodynamischer geologischer Prozesse berücksichtigt werden, was im modernen Bauingenieurwesen naturgemäß kein Schwerpunkt ist. Schädliche Veränderungen durch Alterung betreffen dabei Gründungskörper und Baugrund gleichermaßen. Entfestigungsprozesse im Gründungsmauerwerk treten vor allem durch langzeitlichen Wasser- und Frosteintrag auf. Permanente Überlastung der auf bloßer Erfahrung dimensionierten Gründungskörper kann zu Kriecherscheinungen in Mauerwerk und Baugrund führen. Mörtelauslaugung (Abb. 4) und Holzverrottung sind in Betracht zu ziehen. Verformungen von Gründungskörper und Baugrund durch Zusatzlasten und Lastumlagerungen durch mehrfachen über Jahrhunderte erfolgten Umbau sind weit verbreitet. Schließlich sind die vielfältigen Einwirkungsmöglichkeiten auf Baugrund und

Bauwerk durch geodynamische und bodenphysikalische Prozesse zu berücksichtigen, z. B. Verwitterung, Subrosion, Kriechen, Rutschen, Aufweichen durch Porenwasseraufnahme, Quellen und Schrumpfen. Häufig wird und wurde dabei die Langzeittragfähigkeit von Festgestein überschätzt. Als häufige Langzeitschadensursache haben sich dynamische Einwirkungen erwiesen. Neben Erdbeben oder Schwingungen der Kirchenglocken sind es heute vor allem Verkehrserschütterungen, die plötzlich jahrhundertealte intakte Gebäude in Schwierigkeiten bringen.

4 Untersuchungsmethoden

Auf die gebräuchlichen Feld- und Laboruntersuchungen des Bauwesens wird hier nicht eingegangen. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten Forschungsthemas wurden an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK) einige Untersuchungsmethoden angewendet oder weiterentwickelt, die in anderen Bereichen der Geotechnik mit zumeist anderer Aufgabenstellung bereits eingeführt sind.

Ein besonderes Problem stellt die Erkundung und Untersuchung von historischem Gründungsmauerwerk dar. Die Vielfalt des äußeren und inneren Aufbaus der im Boden liegenden, nicht sichtbaren Gründungskörper erfordert einerseits eine enge Aufschlußdichte, andererseits soll und darf der Gründungskörper möglichst nicht geschwächt oder gar zerstört werden. Neben wenigen Schürfen, die nach wie vor unerlässlich sind, werden an der HTWK deshalb Kleinkernbohrungen mit Diamantkronen von 32 mm Durchmesser horizontal oder schräg durch das Gründungsmauerwerk geführt. Damit kann sowohl die Breite als auch die Tiefe der Gründungskörper und die Art des Baugrundes bestimmt werden. An den Bohrkernen können Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt werden. Da insbesondere Hohlräume und Fugen die Festigkeit beeinträchtigen können, wird zusätzlich ein Endoskop in das Bohrloch eingeführt. Neben der visuellen Erfassung erfolgt eine Videoaufzeichnung als Vorausblick oder Seitenblick, die abgespeichert und wahlweise ausgedruckt werden kann. Neben der Spülung mit Wasser wird z.Z. das Kleinkernbohrverfahren mit Luftspülung erprobt.

Neben der Geometrie- und Zustandserfassung des Gründungskörpers spielt dessen Festigkeit und die Spannungsverteilung in ihm eine wesentliche Rolle für Tragfähigkeitsanalysen. Für die Ermittlung der Verformungsparameter im Gründungsmauerwerk versuchen wir die in der Felsmechanik gebräuchlichen Pressiometer und Dilatometer einzusetzen. Zur Spannungsermittlung wird die Bohrlochschlitzsonde erprobt. Besonders problematisch ist die Einschätzung der Resttragfähigkeit von Holzgründungskonstruktionen. Dazu wurden umfangreiche Untersuchungen an

historischem Gründungsholz mit der Bohrwiderstandsmessung und der Kleinbohrkernentnahme durchgeführt (THIELE 1996).

Langfristige kontinuierliche Verformungsmessungen am Bauwerk und im Baugrund sind für einigermaßen realistische Verformungs- und Tragfähigkeitsprognosen unerlässlich. Wir setzen dazu kontinuierlich aufzeichnende Schlauchwaagen und Rißbreitenerfassungsgeräte ein. Neben vertikalen Verformungen sind häufig auch horizontale Bewegungen, insbesondere durch langfristig wirkende Kriecherscheinungen zu beobachten, die wir mit Inklinometern erfassen. Auf Sanierungsverfahren wird hier nicht eingegangen.

5 Gründungs- und Baugrunduntersuchungen an historischen Gebäuden

Die Untersuchungen zur Heidecksburg, Runneburg und Schloß Nossen wurden an der TU Bergakademie Freiberg (HEISE et al. 1994), die Untersuchungen an der Albrechtsburg, Schloß Hubertusburg und Schloß Schwerin an der HTWK Leipzig (HEISE et al. 1997) durchgeführt.

5.1 Schloß Heidecksburg

Die Heidecksburg im thüringischen Rudolstadt war das Residenzschloß der Grafen von Schwarzburg. Auf dem Berg oberhalb von Rudolstadt hatten bereits seit dem 13. Jahrhundert Burgen gestanden. Sein heutiges Aussehen verdankt das Schloß dem führenden thüringischen Barockbaumeister GOTTFRIED HEINRICH KRONE. Er leitete den Neubau des Schlosses nach dem Schadensfeuer von 1735, welches die aus dem späten 16. Jahrhundert stammende Dreiflügelanlage der Spätrenaissance größtenteils zerstörte. Der Barockneubau erfolgte weitgehend auf den Grundmauern des alten Schlosses.

In allen Gebäudebereichen des Schloßkomplexes sind umfangreiche Schäden in Form von Putzabplatzungen, Mauerausbrüchen und Mauerwerksrissen anzutreffen, die in einer Schadensdokumentation erfaßt wurden. In den Hangbereichen ist es mehrfach zu Massenbewegungen gekommen. Neben der allgemeinen Verwahrlosung, insbesondere der Entwässerungssysteme, waren auch langfristig wirkende, die Gründung beeinträchtigende exogene geologische Prozesse als Schadensursache zu vermuten, so daß eine komplexe geotechnische Untersuchung eingeleitet wurde. Methodik und Ergebnisse sollen kurz erläutert werden.

Die Heidecksburg liegt auf einem langgestreckten Bergsporn mit 25 bis 35° einfallenden Hängen. Dieser Bergsporn besteht oberflächennah aus Gehängelehm und -schutt des Quartärs und darunter aus verwitterten Tonsteinen und klüftigem Dolomit und Kalkstein des Zechsteins, der unterhalb des

Bergfußes von Tonstein und Anhydrit unterlagert wird. Das in größerer Tiefe liegende Steinsalz ist vermutlich vollständig abgelagert. Die tieferliegenden Schichten des varistisch gefalteten Paläozoikums besitzen für die Gründungsproblematik keine Bedeutung mehr.

Das Schloß ist überwiegend unterkellert und mittels Streifen- und Einzelfundamenten aus Bruchsteinmauerwerk im Tonstein und Dolomit gegründet.

Die gesamte Schichtenfolge des Zechsteins ist durch die saxonische Bruchtektonik und durch exogene Prozesse wie Auslaugung und Blockbewegungen verbogen und zerrüttet. Insbesondere das Hauptkluftsystem ist dadurch teilweise zu Spalten erweitert. Im Bereich von Kluftkreuzen sind vor allem bei Schichtwechsel im Dolomit und Kalkstein Kluflhöhlen entstanden. Das generelle Schicht-einfallen ist mit 3 bis 17° nach Südosten gerichtet, lokal treten jedoch durch atektonische Schichtverbiegungen völlig unterschiedliche Fallrichtungen auf.

Subrosionserscheinungen sind für die Vergangenheit belegt. Lokale rezente Subrosion vor allem im Bereich von Kluftkreuzen ist sehr wahrscheinlich.

Die hydrogeologische Situation wird in hohem Maße durch das Kluftsystem des Schloßberges bestimmt. Insbesondere die weit geöffneten Spalten des Dolomits führen das Niederschlagswasser und das Wasser aus den vermutlich defekten Abwasserleitungen schnell nach unten ab, so daß es subrosiv wirken kann. Dagegen kann es sich auf den Tonsteinen, die teilweise im Norden noch über dem Dolomit liegen, aufstauen, so daß es dort zur Aufweichung und Quellung der Gründungsschicht kommen kann.

Die Erkundung von Baugrund und Gründung erfolgte mit den üblichen direkten Aufschlußmethoden, wobei auf schonende und kostengünstige Verfahren orientiert wurde. Zur Abgrenzung von Auffüllungen und Lockergestein wurden Sondierbohrungen durchgeführt. Zur Erfassung des Trennflächensystems wurde der gesamte Burgberg kartiert. In den Kellerräumen wurden Felsfreilegungen und Schürfe ausgeführt. Zur Abgrenzung der tieferen Schichtenfolge wurde der Tiefbrunnen im Schloßhof befahren und dokumentiert. Ergänzend erfolgte der Einsatz geophysikalischer Verfahren mittels Geothermie und Georadar.

Neben der Erfassung von Gründung und Baugrund kommt der Analyse der Kinematik bei der Schadensdiagnose eine entscheidende Bedeutung zu. Deshalb wurde ein Rißmeß- und Verformungsmeßsystem eingerichtet, das vor allem Aufschluß über das mögliche Verschieben und Rotieren von Dolomitblöcken und deren Auswirkungen auf das Mauerwerk geben soll. Es besteht aus einer Kombination von vertikalen und horizontalen Meßeinrichtungen an Felsklüften und Mauerwerksrissen.



Abb. 1: Romanisches und gotisches Gründungsmauerwerk, Kirche Schwerzau. (Foto: HEISE)



Abb. 2:
Gotisches Schalenmauerwerk,
Johanneskirche Ellrich.
(Foto: HEISE)



Abb. 3: Ziegelbankett auf Holzquerbohlen, Schloß Schwerin. (Foto: THIELE)

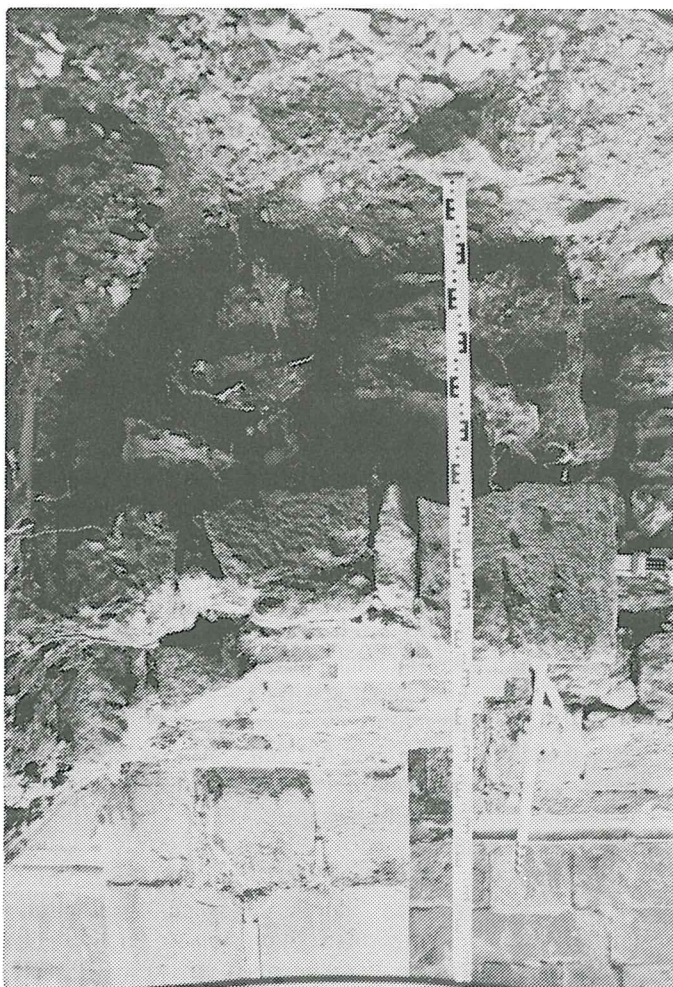


Abb. 4:
Gotisches Gründungsmauerwerk,
Johanneskirche Ellrich.
(Foto: HEISE)

Im einzelnen besteht das Meßsystem aus:

- Schlauchwaagenmeßpunktzeilen, deren Meßbolzen am Fels sowie im Mauerwerk befestigt sind,
- Meßpunkten für Setzungsdehnungsmesser an Klüften und Rissen,
- fest installierten Meßbrücken an Klufspalten,
- Glas- und Gipsmarken an Mauerrissen.

Aus allen Erkundungsdaten wurde ein räumliches komplexes geotechnisches Modell erstellt.

Nach den bisherigen Untersuchungen können an der Heidecksburg in Abhängigkeit von den unterschiedlichen morphologischen, geologischen und hydrogeologischen Einflüssen auf Gründung und Baugrund folgende Hauptschadensursachen angenommen bzw. belegt werden:

- Atektonische Bewegungen im tieferen Untergrund durch Subrosion und Blockbewegungen, die zu einer Verbiegung, Zerrüttung und Verstellung der Schichten des Plattendolomites im Gründungsbereich der Heidecksburg führten und damit rezente Bewegungen ermöglichen,
- Bewegungen im oberen Gründungsbereich, verursacht durch Subrosion und Suffosion infolge des Eindringens von Wasser aus Oberflächenversickerung und defekten Wasser- und Abwasserleitungen in das zerrüttete Gebirge,
- Abkippen und Rotieren von Felsblöcken am Hang durch Verwitterung und Auflockerung,
- Hangrutschungen von Auffüllung, Gehängelehm und -schutt,
- Verformungen der Gründung im Bereich der zersetzten Tonsteine infolge von Aufweichung, Quellerscheinungen.

5.2 Runneburg

Auch die Runneburg in Weißensee in Thüringen ist von erheblichen Bauschäden betroffen, die komplexer Natur sind. In diesem Artikel soll vor allem der Einfluß geologischer Prozesse wie Subrosion, Verwitterung und Hangbewegungen dargestellt werden. Die bodenmechanischen und grundbau-technischen Probleme werden von der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar untersucht.

Die Runneburg befindet sich am westlichen Ortsrand der Stadt Weißensee auf einem Hügel, der im Mittelalter von drei Seiten von Sumpf bzw. flachen Seen umgeben war.

Es handelt sich um einen Bauwerkskomplex, der im 9.Jh. errichtet und im Laufe der Jahrhunderte mehrfach verändert wurde. Nach Osten wurde die Burg durch Gräben und Mauern gesichert. Alle späteren Erweiterungen und Veränderungen der Burg im 13. Jh., um 1578 und nach 1600 bauen vor allem auf der aus der Zeit um 1170 stammenden Erstanlage auf.

Die Burg ist insgesamt in einem sehr schlechten baulichen Zustand. Die größten Schäden sind am Turm und am Pallas zu verzeichnen. An der Südwestecke des Turmes, aber auch am Pallas ist verschiedentlich bereits das Mauerwerk schalenförmig ausgebrochen. Risse treten in großem Umfang auf. Seit Beginn der Überwachung der Ribbildung weist diese eine progressive Tendenz auf. Ebenso vergrößert sich die Turmneigung mit zeitlich steigender Geschwindigkeit nach Südwesten. Die Sanierungsphase hat deshalb schon begonnen.

Die Runneburg liegt geologisch im zentralen Bereich des Thüringer Beckens.

Unter unterschiedlich mächtiger Auffüllung folgt ein quartärer limnischer Ton, der von zersetzten Tonsteinen des Keupers unterlagert wird. In den darunterliegenden unverwitterten Tonsteinen sind dünne Schichten von Gips und Anhydrit eingelagert.

Für die Schadensdiagnose ist vor allem der quartäre organisch durchsetzte Ton von Interesse. Wie petrographische Untersuchungen unter dem Mikroskop ergeben haben, handelt es sich dabei nicht um eine Bodenbildung, wie zuerst zu vermuten war, sondern um eine holozäne limnisch-fluviatile Teichablagerung. Die heutige ungewöhnliche Hochlage ist nur durch bis unmittelbar in die Gegenwart reichende Auslaugungsprozesse der Gipseinlagerungen in den Keupertonsteinen und -mergeln deutbar. Neben der hohen Plastizität weist diese Ablagerung infolge von organischer Substanz und der Führung von Wechelschichttonmineralen (mixed layer illite) ein bedeutendes Schrumpf- und Quellvermögen auf. Auch der unter dieser Schicht liegende Verwitterungston der Keupertonsteine ist infolge von Wechelschichttonmineralen hochplastisch und ebenfalls schrumpf- und quellfähig, wie die Röntgenphasenanalyse gezeigt hat.

Die natürlichen Schichten liegen flach und ungestört übereinander. Der organisch durchsetzte Ton fällt flach zu den Rändern der Burg hin ein. Die Basis des Tonsteinersatzes ist unregelmäßig ausgebildet. Teilweise fällt diese Schicht, die als vorgegebene Gleitfläche wirken kann, mit dem Hang ein. Die Tonsteine selbst liegen im wesentlichen flach, jedoch ist infolge der Gipsauslaugung mit unregelmäßigen Schichtverbiegungen zu rechnen.

Die Gründung wurde flach aus teilweise unvermörteltem Bruchsteinmauerwerk auf der damals oberflächlich anstehenden organischen limnischen Tonschicht sowie dem Verwitterungston des Keupers ausgeführt.

Der sich mit den Um- und Ausbauten ergebenden Zunahme der Belastung wurde mit dem Anbau von Pfeilern begegnet. Eine Tiefergründung erfolgte nicht.

Auch an der Runneburg wird ein Großteil der Schäden durch exogene geologische Prozesse hervorgerufen. Subrosion ist nachweislich bis in die jüngste Vergangenheit ein wesentliches Element der heutigen Lagerung des Schichtverbandes mit Schichtverbiegungen und Gefügauflockerungen. Die Größe der rezenten Subrosion ist umstritten. Aufgrund der

hohen Sulfatkonzentration des Grundwassers sind Subrosionsprozesse im tieferen Untergrund unwahrscheinlich. Infolge Frischwasserzufuhr durch defekte Leitungen und ungenügenden Oberflächenwasserabfluß ist jedoch Subrosion im oberen Bereich unmittelbar unterhalb der Gründung wahrscheinlich und durch Spülungsverluste auch belegt.

Die Verwitterung der Keupertonsteine wirkt zusammen mit der Subrosion gefügebrauchend. Durch die Vertonung selbst kommt es dabei zu erheblichen Festigkeitseinbußen. Im Zusammenhang mit der starken Erhöhung der Aktivität sind durch Wasserzufuhr Aufweichung und Quellung erfolgt. Neben den damit verbundenen vertikalen Verformungen sind infolge der geometrischen Situation auch horizontale Bewegungen nicht auszuschließen.

5.3 Schloß Nossen

Schloß Nossen in Sachsen liegt auf einer steilen Anhöhe im Norden der Stadt südlich der Freiburger Mulde. Das Schloß wurde 1180 erstmals erwähnt, mehrfach umgebaut und diente unter anderem als Gefängnis für die Gräfin Cosel.

Am westlichen steilen Felshang ist durch natürlichen Massenabtrag infolge Verwitterung das Gründungsmauerwerk teilweise bis 0,3 m unterschritten und schwebt frei in der Luft. In den unterschrittenen Bereichen existiert eine akute Standsicherheitsgefährdung, so daß eine Sanierung kurzfristig erforderlich ist.

Das Schloß liegt im Bereich des Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirges. Der kritische Gründungsbereich am Westhang besteht aus altpaläozoischen Phylliten, die varistisch gefaltet, geschiefert und bruchtektonisch gestört sind. Das Mauerwerk der Westwand aus Bruchstein und Ziegeln ist ohne Einbindung unmittelbar auf frostveränderlichem, verwittertem bis zersetztem Festgestein gegründet.

Der maßgebende geologisch verursachte Schadensprozeß besteht in der Verwitterung der witterungsempfindlichen Phyllite, die über die Gefügeentfestigung bis zum völligen Zersetz geführt hat. Der Fels wurde so im Laufe der Jahrhunderte durch Wasser, Frost, Pflanzenbewuchs und Wurzeldruck zerstört. Das auf diese Weise entfestigte Gesteinsmaterial kann sich an der steilen Böschung nicht halten und gleitet herab. Ganz offensichtlich ist dieser Prozeß in den letzten Jahren mit verstärkter Intensität abgelaufen, denn noch 1950 existierte laut Augenzeugenberichten im jetzt unterschrittenen Bereich eine Berme. Es muß angenommen werden, daß infolge fehlender Wartung und Instandsetzung ein verstärktes Eindringen von Oberflächen- und Abwasser zu dieser Beschleunigung der Verwitterungsprozesse geführt hat. Ausgangspunkt ist dabei die mit der Verbreiterung und Vertiefung des Burggrabens im Jahre 1545 erfolgte Versteilung des Hanges.

Der zu sanierende Hangbereich wurde geologisch-tektonisch kartiert. Das für die erforderlichen Standsicherheitsnachweise maßgebende Trennflächengefüge wurde dabei mittels stereophotogrammetrischer Auswertung erfasst. Mit einer kleinkalibrigen Kernbohrung wurde die Mächtigkeit der Auflockerungszone erkundet. Vom angewitterten Phyllit wurden gesteinsmechanische Kennwerte ermittelt und daraus in Abhängigkeit vom Trennflächengefüge die für die Standsicherheitsnachweise erforderlichen felsmechanischen Berechnungswerte abgeleitet.

5.4 Schloß Hubertusburg

Das Jagdschloß Hubertusburg in Wernsdorf ist die größte barocke sächsische Schloßanlage, die in drei großen Bau- und Umbauphasen von 1721 bis 1752 errichtet wurde. Gründungsuntersuchungen wurden erforderlich, da an den 4 Seitenpavillons Rißschäden festgestellt wurden und im Hauptgebäude Umnutzungen geplant sind.

Mittels Kleinkernbohrungen und Schürfen wurden Gründung und Baugrund untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß die Gründung aus Bruchsteinmauerwerk sehr flach, teilweise nur in 0,3 m Tiefe auf frostempfindlichem, kaolinisch-grusig zersetztem Porphyrit erfolgte, so daß Frostschäden auftreten können. Mittels langfristigen Schlauchwaagemessungen wird diese Schadensmöglichkeit untersucht. Quell- und Schrumpferscheinungen sind dagegen infolge nachgewiesenermaßen fehlender Dreischichtminerale ausgeschlossen.

Im Hauptschloßkomplex treten keine gründungsbedingten Schäden auf. Da jedoch eine Umnutzung mit stark erhöhten Deckenlasten vorgesehen ist, erfolgte auch hier eine eingehende Gründungsuntersuchung mittels Schürfen, Kleinkernbohrungen und Trockenbohrungen. Es wurden dabei komplizierte Baugrund- und Gründungsverhältnisse festgestellt, die ohne erhebliche Zusatzgründungsmaßnahmen eine Erhöhung der Deckenlasten nicht zulassen.

5.5 Albrechtsburg Meißen

Die als Residenz der sächsischen Kurfürsten vorgesehene spätgotische Albrechtsburg wurde anstelle romanischer Vorgängerbauten von dem berühmten Baumeister ARNOLD VON WESTFALEN mit ungewöhnlichem Aufwand von 1470 bis 1525 errichtet. Es war das erste Wohnschloß in Deutschland mit teilweise völlig neuartigen Konstruktionsprinzipien. Schäden im Mauerwerk und in Gewölben ließen die Vermutung von Baugrund- und Gründungsschäden aufkommen. Mittels erstmalig durchgeführter bauwerksschonender Kleinkernbohrungen mit einem Durchmesser von 32 mm und Endoskopie konnte belegt werden, daß die Streifen Gründung in guter Qualität auf nur geringfügig verwittertem Syenodiorit erfolgte, so daß baugrundbedingte Gründungsschäden ausgeschlossen

werden konnten. Weiterhin konnte mittels Bohrsondierungen festgestellt werden, daß deutlich erkennbare Risse am Osthang aus Sackungen in der bis 9 m mächtigen Auffüllung zurückzuführen sind und somit die Standsicherheit der auf Fels gegründeten Ostwand nicht beeinträchtigt ist. Mittels eines am Steilhang angeordneten Inclinometers werden die aufgetretenen Böschungsbewegungen jedoch weiter untersucht.

5.6 Schloß Schwerin

Das Residenzschloß der Herzöge von Mecklenburg in seiner heutigen Form geht vor allem auf den großen Umbau in den Jahren 1845 - 1854 nach Plänen von DEMMLER zurück. Reste von Vorgängerbauten im Gründungsbereich können bis ins Jahr 900 zurückverfolgt werden.

Das Schloß ist teils flach auf Feldstein und Ziegelbanketten, unterstützt durch Contrebögen, teils auf Pfählen gegründet. Als Gründungsschichten und Baugrund treten Auffüllungen, Torf, Mudde, Seekreide und pleistozäner Feinsand auf. Durch vertikale, teilweise auch horizontale Kriechbewegungen und durch Holzverrottung treten sehr unterschiedliche Setzungen auf, die zu erheblichen Bauschäden geführt haben und einer Sanierung

bedürfen. Zur Entwicklung einer bauwerkschonenden, denkmalgerechten Sanierungskonzeption wurden von der Universität Karlsruhe (GOLDSCHIEDER et al. 1991) und der HTWK Leipzig (HEISE et al. 1997) umfangreiche Baugrund- und Gründungsuntersuchungen durchgeführt. Die Leipziger Untersuchungen bestanden in der Erkundung von Geometrie und Zustand der komplizierten Gründungskörper mittels Schürfen, Kleinkernbohrungen und Endoskopie. Zur Erfassung horizontaler Baugrundbewegungen wurden vier Inclinometerbohrungen abgeteuft und fortlaufend vermessen. An Holzgründungsteilen wurden umfangreiche Festigkeitsuntersuchungen mit schonenden Methoden (Bohrwiderstandsmessungen, Kleinbohrkerne) ausgeführt. Zur kontinuierlichen Setzungsmessung wurden 20 Schlauchwaagentöpfe, verteilt über das gesamte Schloß, und ein automatisch aufzeichnendes Rißbreitenmeßsystem angebracht. An hochbelasteten Bauteilen wurde mittels Bohrlochschlitzsonde und Dilatometer versucht, den tatsächlichen Spannungszustand zu ermitteln.

Auf Grundlage der Baugrund- und Gründungsuntersuchungen der Universität Karlsruhe und der HTWK Leipzig wird zur Zeit die Sanierungskonzeption erarbeitet, bei der insbesondere die Verformungsmessungen baubegleitend fortgesetzt werden.

Literatur

- GOLDSCHIEDER, M., KLOBE, B., KRIEG, S., KUDELLA, P. & GUDEHUS, G. (1991): Bodenuntersuchungen und erste Empfehlungen für Gründungs-sanierungen an Terrassen, Orangerie und Kolonnaden des Schweriner Schlosses.- In: Sonderforschungsbereich 315, Univ. Karlsruhe, Jahrbuch 1991.
- HEISE, G., SCHLEUBNER, H. P., & TONDERA, D. (1994): Geologische Prozesse, die zu Schäden im

- Gründungsbereich von Burgen führen.- In: Burgen und Schlösser, Teil III: 199-208; Koblenz.
- HEISE, G., THIELE, R. & TONDERA, D. (1997): Geotechnical studies and measurements on castles in Eastern Germany.- In: VIGGIANI, C. [ed.]: Geotechnical engineering for the preservation of monuments and historic sites.- 365-371; Roptterdam/Brookfield (Balkema).

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. Günter Heise
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (FH)
Fachbereich Bauwesen
Karl-Liebknecht-Str. 132
04277 Leipzig