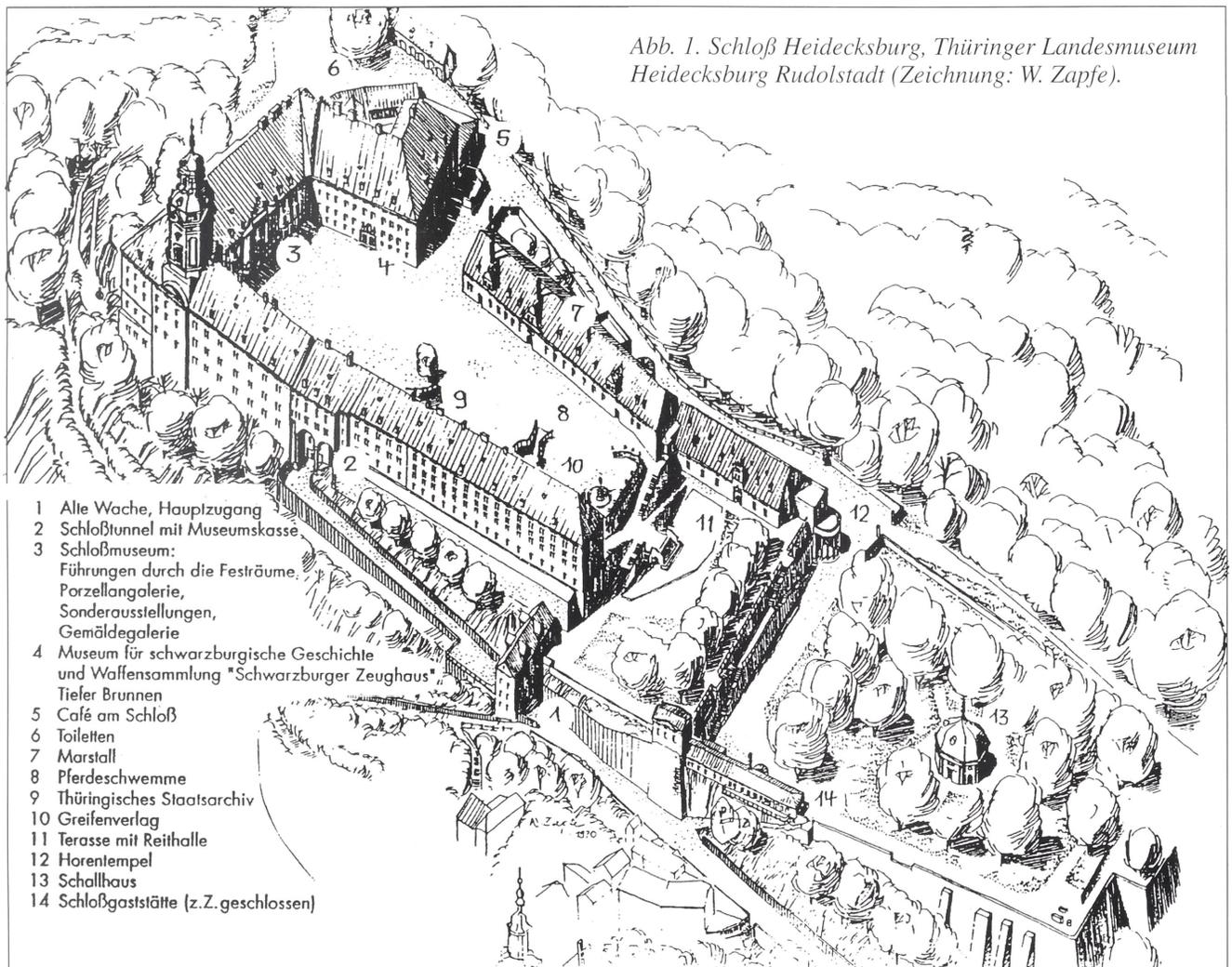


Geologische Prozesse, die zu Schäden im Gründungsbereich von Burgen führen – Heidecksburg in Rudolstadt, Runneburg in Weißensee, Schloß Nossen



1. Aufgaben der Ingenieurgeologie bei der Schadensuntersuchung von historischen Bauwerken

In der Regel sind Schäden an historischen Bauwerken komplexer Natur. Neben Schadensursachen, die aus boden- und felsmechanisch erklärbaren Schwächen des Baugrundes, der Hydrologie, Gründung, Konstruktion, Bauwerksalterung und unsachgemäßen späteren Eingriffen in Baugrund und Bauwerk herrühren, treten auch Bauwerksschäden als Folge langfristig wirkender geologischer Prozesse, wie Verwitterung, Auslaugung, unterirdische Erosion, Suffosion, Kriecherscheinungen und Rutschungen an Hängen und Böschungen, teilweise auch 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 geologischen, hydrologischen, boden- bzw. felsmechanischen komplexen Baugrunduntersuchung ist die Diagnose und Prognose derartiger geologischer Prozesse eine Hauptaufgabe der Ingenieurgeologie bei der Sicherung und Sanierung historischer Bauwerke. Die Arbeitsmethodik besteht, aufbauend auf einer geologisch-historischen Recherche und daraus abzuleitender Grobmodellierung des Bauwerksuntergrundes und seiner weiteren Umgebung, in der geologisch-geotechnischen Dokumentation natürlicher und möglichst weniger, die historische Substanz schonender künstlicher Aufschlüsse – unter Einbeziehung geophysikalischer Erkundungsverfahren und einer meßtechnisch unterstützten Beobachtung von Verformungen im Baugrund und am Bauwerk. Im Wechselspiel von Analyse und Synthese soll so eine möglichst reale geotechnische Darstellung des Baugrundes und seine zeitliche Veränderung bei geringem Eingriff in die historische Substanz erreicht werden. Die komplexe räumliche und zeitliche Erfassung der Einflußfaktoren soll eine zielgerich-

tete Diagnose der vorhandenen Bauwerksschäden und eine Prognose des wahrscheinlichen Verlaufs ermöglichen und – darauf aufbauend – künftige Schadensmöglichkeiten erkennen helfen. Neben den bewährten Untersuchungsmethoden bildet die sich schnell entwickelnde computergestützte Datenerfassung, -verarbeitung und -dokumentation einen Schwerpunkt für angewandte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Dabei sollen auch die potentiell gefährdeten, noch nicht geschädigten Bauwerksbereiche erfaßt werden, um prophylaktisch Schutzmaßnahmen einleiten zu können. Am Beispiel durchgeführter und geplanter Untersuchungen und Forschungsarbeiten an der Heidecksburg in Rudolstadt, der Runneburg bei Weißensee und des Schlosses Nossen soll diese Arbeitsmethodik erläutert werden.

2. Heidecksburg

Lage, Bauwerk, Baugeschichte

Die Heidecksburg im thüringischen Rudolstadt ist das Residenzschloß der Schwarzburger Dynastie (Abb. 1). Das Schloß birgt in seinen Innenräumen eine Fülle von architektonisch und kulturhistorisch wertvollen Kostbarkeiten. Auf dem Berg oberhalb von Rudolstadt hatten bereits seit dem 13. Jahrhundert Burgen und Schloßanlagen gestanden, die in Kriegen und Bränden immer wieder beschädigt oder völlig zerstört worden waren. Sein heutiges Aussehen verdankt das Schloß dem führenden thüringischen Barockbaumeister Gottfried Heinrich Krone (1) (1703–1756). Er leitete den Neubau des Schlosses nach dem Schadensfeuer 1735, welches die aus dem späten 16. Jahrhundert stammende Dreiflügelanlage der Spätrenaissance größtenteils zerstörte. Der Barockneubau erfolgte weitgehend auf den Fundamenten und Grundmauern des alten Schlosses.

Bauwerksschäden

Der gesamte Schloßkomplex „Heidecksburg“ umfaßt eine Fläche von ca. 7500 m². In allen Gebäudebereichen sind Schäden (aufsteigende Feuchtigkeit, Mauerausbrüche,

Mauerwerksrisse) anzutreffen. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand wirkte dabei das Wasser als Hauptverursacher der Schäden. Besonders der unkontrollierte Wasseraustritt bei Rohrbrüchen, die Überbelastung der Abwasserleitungen und der generell desolate Zustand der Rohrsysteme einschließlich der Regenwasserableitung müssen als Träger bzw. schadensauslösende und schadensbegünstigende Faktoren gewertet werden. Die von der Bergakademie Freiberg durchgeführte Schadensdokumentation im West- und im Südflügel beweist, daß der überwiegende Teil der Mauerwerksrisse schon in den Kellergebäuden vorhanden ist und sich teilweise bis zum Dachgeschoß durchzieht (Abb. 2).

In dieser Schadensdokumentation (2) wurden die Außenwände sowie die einzelnen Räume des Süd- und Westflügels vom sogenannten zweiten Keller („Tiefer Keller“) bis zum Dachgeschoß begutachtet und dokumentiert. Dabei wurden von außen an der Westfront des Westflügels elf, an der Ostfront des Westflügels fünf, und an der Südfront des Südflügels ebenfalls elf bedeutende Mauerwerksschäden beschrieben und eingemessen. In den Innenräumen der beiden untersuchten Gebäude wurden insgesamt 172 Mauerwerksrisse festgestellt und dokumentiert. Dabei ist zu bemerken, daß die größten Schäden in den Kellerbereichen zu verzeichnen sind.

An der „Alten Wache“ sind Mauerwerksverformungen und Rißschäden zu beobachten (Abb. 3). Die Schäden an dem quer zum Hang stehenden Wachhaus waren bereits früher Anlaß für Sicherungseinbauten. Die zwei Rundstahlanker hinter den beiden Toröffnungen sind vermutlich Ende des 19. Jahrhunderts eingebaut worden. 1958 fing man die sich setzenden Torpfeiler durch Stahlträger ab (3). Als Ursache für die dennoch weiter zunehmenden Setzungen sind der Materialaustrag im Untergrund des Gebäudes durch unzureichende Wasserableitung als auch die Hangbewegung zu großen Festgesteinsblöcken im Gründungsbereich zu vermuten.



Abb. 2. Nordflügel von Schloß Heidecksburg, photogrammetrische Aufnahme von Rißschäden (TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie).

Abb. 3. Schäden an der „Alten Wache“ der Heidecksburg (Foto: Verf.).



Im Schloßcafe sind im Fundamentbereich Senkungen und Rißschäden ausgebildet, die eine baupolizeiliche Sperrung des Gebäudes erforderlich machten. Durch ungenügende Ableitung des Oberflächenwassers ist 1975 das Schloßcafe so unterspült worden, daß sich die Fundamente neben der bergseitigen trichterförmigen Aushöhlung gesenkt haben. Bereits vorher vorhandene feuchte Stellen am talseitigen Mauersockel ließen auf durchsickerndes Wasser schließen, möglicherweise aus dem hier endenden Abzweig einer Wasserleitung (4).

Ein weiteres Problem, bedingt durch Schäden im Gründungsbereich, bildet der nachträglich an die Außenfront des Südflügels angebaute Altan, der sich hangwärts neigt. Es zeigen sich starke Rißschäden.

Im Bereich des Hanges zur Stadt sind in den Wohngebäuden vereinzelt Rißbildungen und lokal Mauerwerksverformungen an Schloßmauer und Stützmauern zu beobachten. Verwitterung führte an den Stützmauern zu Schäden. Der Fugenmörtel ist ausgewaschen, in unterschiedlichem Maße die Steinoberfläche abgewittert. Durch vernachlässigte Instandhaltung sind einzelne Steine aus dem Mauerverband herausgefallen. Die allmählich größer werdenden Ausbrüche beeinträchtigen die Standsicherheit der Stütz- und Futtermauern. Die Lockerungen des Mauerwerksverbandes werden außerdem durch Bewuchs mit Sträuchern und Bäumen begünstigt. 1974 kam es auf Grund einer gebrochenen Frischwasserleitung zum Einsturz der Mauer östlich vom Wachhaus. Am Ende des anderen Abzweiges dieser Leitung ist 1975 ein weiteres Stück der Stützmauer eingestürzt, weil auch hier der Mauerfuß seit langem durchfeuchtet wurde (5).

An der Austrittsstelle des als Hundegrabens bezeichneten ehemaligen Abwasserkanals ist 1975 ein Hangrutsch entstanden, der die seitliche Begrenzung des nördlichen Zufahrtsweges mit erfaßt hat.

Geologie

Die Heidecksburg liegt auf einem ESE-WNW streichenden Bergsporn, welcher durch die Saale im Süden und die

Rinne im Nordosten begrenzt wird. Der Burgberg besteht aus zwei Plateaus. Er baut sich im Osten mit einer Höhe von ca. 190 m NN auf und erreicht seine maximale Höhe im Schloßhof auf dem westlichen Plateau mit 246 m NN. Das östliche Plateau im Bereich des Schloßparks befindet sich auf einer Höhe von ca. 230 m NN. Diese Plateaus werden im Süden von einem mit 45 bis 60° einfallenden sehr steilen Hang, im Osten durch einen mit 25 bis 30° einfallenden Hang und im Norden und Nordosten durch einen mit ca. 34° einfallenden Hang begrenzt. Diese Hänge sind terrassenartig aufgebaut.

Regionalgeologisch gesehen gehört der Schloßberg zum Rudolstädter Sattel, der zwischen der südlichen und nördlichen Remdaer Störungszone liegt und die Höhenzüge zwischen Remda und Rudolstadt sowie dem Kalmgebiet bildet. Im Gebiet dieses Sattels sind Schichten des oberen Zechsteins bis unteren Keupers aufgeschlossen. Der Schloßberg der Heidecksburg besteht jedoch bis zu seinem Fuß nur aus den Schichten des oberen Zechsteins, der wie folgt gegliedert ist (6):

Serie	Zyklus	Bezeichnung	Kurzbezeichnung
Aller	Z 4	obere Letten	z3-4't
Leine	Z 3	Plattendolomit	z3'd
Leine	Z 3	untere Letten	z3't

Die „unteren Letten“, graue, dünnplattige Ton- bis Mergelsteine, sind nur im „Mörlagraben“, ca. 1,2 km südwestlich der Heidecksburg, aufgeschlossen. Im Schloßbergbereich selbst sind sie unter dem Plattendolomit auf einem Niveau unterhalb 190 m NN zu erwarten, bisher jedoch durch Aufschlüsse nicht nachgewiesen. Der „Plattendolomit“ besteht aus einer Wechsellagerung von Dolomit, kalkigem Dolomit, dolomitischem Kalkstein und dolomitfreiem Kalkstein. Diese grauen, gelbgrauen, braunen und schwarzen Karbonatgesteine besitzen eine sehr unterschiedliche Festigkeit und Verwitterungsbeständigkeit. Besonders witterungsempfindlich und relativ weich sind zwei sandig bis tonig, meist massig ausgebildete braune Dolomitbänke, die

am Südhang in einem Bereich zwischen 110 und 120 m NN nachgewiesen wurden. Sie fallen nach Südosten mit Beträgen zwischen 3 und 7° ein. Die Mächtigkeit verringert sich von 1,2 bis 1,7 m im westlichen Bereich des Südhanges bis auf wenige Zentimeter am östlichen Abschluß der Schloßparkmauer. Das Hangende des Plattendolomits bilden die „oberen Letten“, dünnplattige Ton- bis Mergelsteine von grüngrauer, hellbrauner bis rötlicher Farbe.

Die „oberen Letten“ stehen im nordwestlichen Bereich des Schloßhofes der Heidecksburg unter der Hofbefestigung bzw. einer Auffüllungsdecke an.

Im tieferen Untergrund der Heidecksburg sind unter den „unteren Letten“ noch der „Hauptdolomit“, der „graue Salztou“, der „Werraanhydrit“, der „Zechsteinkalk“ und das „Zechsteinkonglomerat“ zu erwarten. Das „Werrasteinsalz“ ist abgelaugt. Die tieferliegenden Schichten des varistisch gefalteten Paläozoikums besitzen für den Standort keine Bedeutung mehr.

Die gesamte Schichtenfolge des Zechsteins ist durch die saxonische Bruchtektonik und durch atektonische 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 Kluflhöhlen entstanden. Das generelle Schichteinfallen ist mit 3 bis 17° nach Südosten gerichtet, lokal treten jedoch durch atektonische Schichtverbiegungen völlig unterschiedliche Fallrichtungen auf. Störungen im Burgbergbereich sind bisher noch nicht nachgewiesen, jedoch infolge scheinbarer anomaler Schichtmächtigkeiten zu erwarten.

Subrosionserscheinungen sind für die Vergangenheit belegt. Ob heute noch subrosiv bedingte Verformungen auftreten, muß im Zuge der weiteren Erkundungsarbeiten untersucht werden. Die hydrogeologische Situation wird in hohem Maße durch das Kluftsystem des Schloßberges bestimmt. Durch die relativ geringe Lockergesteinsbedeckung hindurch erfolgt die natürliche Hauptentwässerung des Plateaus und Hanges, aber auch infolge des defekten Entwässerungssystems der Schloßanlage die Abführung von Wasser der Dächer und des Schloßhofes durch das teilweise zu Spalten erweiterte Kluftsystem.

Baugrund- und Gründungsuntersuchung

Die Erkundung von Baugrund und Gründung konzentrierte sich bisher auf den Bereich des West- und Nordflügels. Insbesondere sollte durch Schürfe und Sondierungen erkundet werden, ob Bauwerksschäden mit eventueller Gründung in schlecht tragfähigen Schichten, z. B. Auffüllungen, im Zusammenhang stehen. Ein Schurf an der Südwestecke des Westflügels belegt die Gründung der südlichen Außenmauer des „Tiefen Kellers“ auf Fels (Dolomit). In den Innenräumen dieses Kellers ist die gesamte Ostfront sichtbar auf Fels gegründet. Für die Westseite trifft dies nur im nördlichsten Raum zu. Die in den drei südlichen Räumen durchgeführten Bohrsondierungen entlang der westlichen Mauer zeigen ein relativ gleichbleibendes Niveau von ca. 231 m NN. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, daß auch die von der Südwestecke nordöstlich weiterführende Mauerflucht auf Fels gegründet wurde. Ergänzend zu den Sondierungen wurde in den drei südlich gelegenen Räumen eine Freilegung der Bereiche durchgeführt, in denen die Felsoberfläche unter einer nur geringmächtigen Lockergesteinsbedeckung (0,1–0,3 m) unter dem Kellerfußboden ansteht. Damit wurde das Kluftsystem freigelegt, und es

konnte nachgewiesen werden, daß Risse und Schäden im Mauerwerk unmittelbar im Zusammenhang mit den teilweise geöffneten Hauptkluftscharen stehen. Vor allem im Bereich von Kluftkreuzen häuften sich die Schäden (Abb. 4).

Da eine Reihe von Bauwerksschäden offensichtlich an die Klüftung des Untergrundes gebunden ist, erweist sich eine Untersuchung von Verlauf und Ausbildung des Kluftsystems unterhalb der Gründung als notwendig. Die Klüftung des Burgberges und die starke Gebirgsauflockerung sind im Bergkeller unter dem „Alten Rathaus“ besonders gut zu erkennen (Abb. 5).



Abb. 4. Mauerwerksausbruch an einer Kluftzone im „Tiefen Keller“ der Heidecksburg (Foto: Verf.).

Zur Klärung der tieferen Baugrundsituation sowie des geologischen Aufbaus des Burgberges wurde deshalb zusätzlich zu den künstlichen Aufschlüssen eine geologische Kartierung des gesamten zugänglichen Südhanges vorgenommen. Es erfolgten eine strukturgeologische und lithologische Analyse und ergänzend dazu petrologische und chemische Untersuchungen zur Charakterisierung der verschiedenen Varietäten des Plattendolomits (Abb. 6).

Der Baugrunderkundung bei historischen Bauwerken sind häufig auf Grund der Nutzung der Gebäude und der häufig überbeanspruchten Tragfähigkeit des Untergrundes und Schwächen der Konstruktion, aber auch wegen der Schonung der historischen Substanz von Bauwerk und Konstruk-

tion enge Grenzen gesetzt. Es ist deshalb erforderlich, substanzschonende Erkundungsmethoden zu entwickeln und einzusetzen.

Dazu bieten sich u. a. auch geophysikalische Untersuchungsmethoden an. Für die Baugrunderkundung im Bereich der Heidecksburg wurden bisher zwei Verfahren getestet. Die Geothermie wurde eingesetzt, um Schichtgrenzen zwischen Aufschüttung und gewachsenem Fels bzw. auch den Verlauf größerer Klüfte zu erkunden. Dieses Verfahren beruht auf der Feststellung der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen mittels Infrarotmessungen. Eindeutig auswertbare Ergebnisse wurden bisher nicht erzielt.

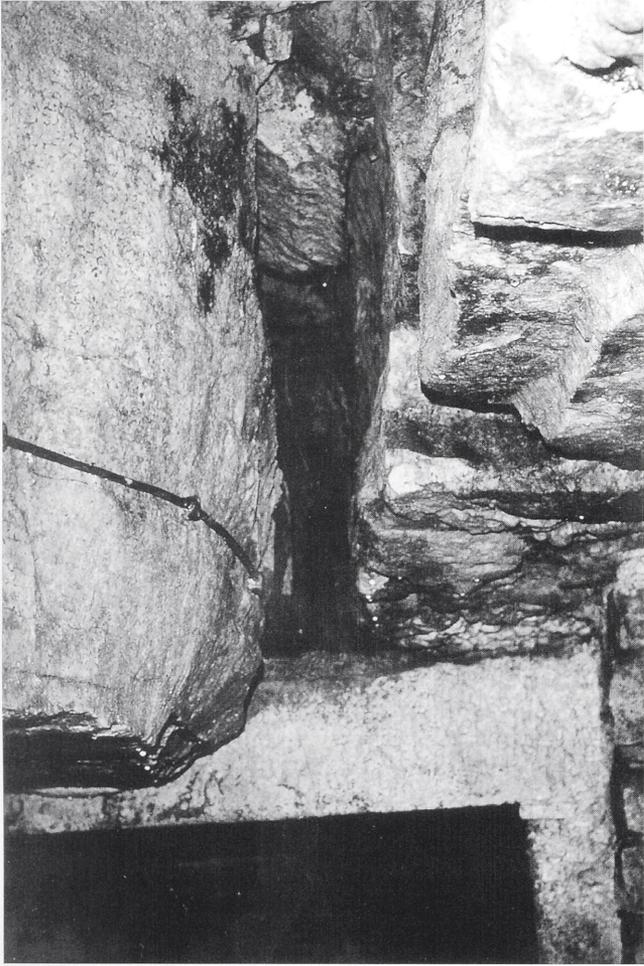


Abb. 5. Klüftung im Keller des „Alten Rathauses“ Rudolstadt, Öffnungsweite ca. 0,2 m (Foto: Verf.).

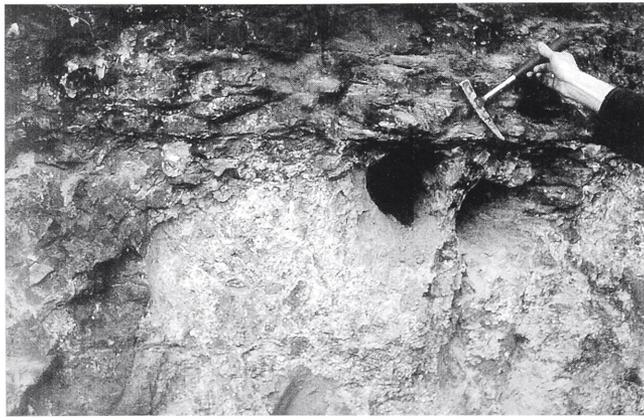
Weiterhin wurde die Methode des Georadar im Bereich des westlichen Burghofes sowie im „Tiefen Keller“ getestet. Das Meßprinzip besteht hier in der Auswertung der Reflektionen hochfrequenter elektromagnetischer Impulse. Damit soll es möglich sein, oberflächennahe Inhomogenitäten und Hohlräume zu erkunden. Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen stehen noch aus bzw. werden gegenwärtig aufbereitet. Mit geophysikalischen Messungen können sehr schnell und mit relativ geringem Aufwand größere Bereiche erkundet werden. Eine erfolgversprechende Aufbereitung und Interpretation der Meßergebnisse setzt voraus, daß der grundsätzliche Schichtenaufbau bekannt und die Differenz der physikalischen Eigenschaften der Baugrundsichten

entsprechend groß und Störfaktoren entsprechend klein sind. Das erfordert eine enge Zusammenarbeit von Ingenieurgeologie und Geophysik. Auf den Einsatz von Bohrungen und Schürfen zur Absicherung der geophysikalischen Meßergebnisse kann daher nicht verzichtet werden. Die direkten Aufschlußarbeiten können damit jedoch minimiert und gezielter eingesetzt werden. Dies führt zu geringeren Aufschlußkosten und schon gleichzeitig das Bauwerk vor unerwünschten Beeinträchtigungen.

Ingenieurgeologische Modellierung der bisherigen Untersuchungen

Die geologischen und geotechnischen Einzeldaten sind nur im Rahmen einer komplexen ingenieurgeologischen Modellierung sinnvoll interpretierbar, da sich viele Einflußfaktoren überlagern und die tatsächlichen Schadensursachen verschleiern. Im Rahmen eines von dem Bundesministerium für Forschung und Technologie finanzierten Forschungsprojektes sollen neue ingenieurgeologische Methoden unter Einbeziehung der Erfassung, Darstellung und Auswertung geologischer und geotechnischer Daten mittels elektronischer Datenverarbeitung entwickelt und erprobt werden, mit denen eine zuverlässige Klärung geologisch bedingter Schadensursachen wie Auslaugungserscheinungen, Talzuschub, Blockbewegungen, Hangkriechen, Suffosion, unterirdische und oberirdische Erosion und Verwitterung ermöglicht wird. In das auf diese Weise erstellte ingenieurgeologische Modell fließen die Untersuchungsergebnisse folgender Teildisziplinen ein: Morphologie, Regionalgeologie, Stratigraphie, Lithologie, Lagerungsverhältnisse, Hydrologie, Boden- und Felsmechanik, Gründungsart und -zustand, Schadensdokumentation, Verformungsmessungen. Die geordnete und komplexe Betrachtung der Gesamtheit der einflußnehmenden Faktoren soll zu einer zielgerichteten Diagnose der Ursachen von Bauwerksschäden, ihrer Prognose und Sanierung führen. Das Problem der dreidimensionalen Erfassung und Darstellung der Erkundungsergebnisse wird durch den Einsatz moderner Computertechnik stark vereinfacht. Für die Computermodellierung wird am Lehrstuhl Ingenieurgeologie der TU Bergakademie Freiberg eine leistungsfähige Hardware in Form einer Opus-Sparc-Workstation 5120 des Instituts für technische Informatik verwendet. Als Software wird das international erprobte LYNX-SYSTEM (7), ein komple-

Abb. 6. Höhlenbildung in einer erosionsempfindlichen Dolomitschicht am Südhang des Schloßberges der Heidecksburg (Foto: Verf.).



xes Programm zur Modellierung von bergbaulichen und geologischen Problemen, genutzt. Damit ist es möglich, Bauwerke mit den dokumentierten Schäden im Zusammenhang mit dem Baugrund im Gründungsbereich und dem tieferen geologischen Untergrund darzustellen.

Bewegungsmessungen

Neben der Darstellung des komplexen Ist-Zustandes kommt der Analyse der Kinematik bei der Schadensdiagnose eine entscheidende Bedeutung zu. Der Schadensverlauf kann in Verbindung mit dem Wissen über die geologischen Verhältnisse und durch Einbeziehung weiterer äußerer Einflussfaktoren, z. B. die Veränderung der hydrologischen Verhältnisse, deutliche Hinweise für die Schadensdiagnose geben. Weiterhin bietet sich eine Prognose zur Schadensentwicklung durch eine Analyse von Bewegungen im Bauwerk und Baugrund an. Gegenwärtig ist der zeitliche Verlauf der Bewegungen in Baugrund und Bauwerk noch weitestgehend unklar. Deshalb wurde ein Reißmessungs- und Verformungsmessungssystem eingerichtet, das vor allem Aufschluß über das 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.

Das Meßsystem besteht aus:

- Schlauchwaagenmeßpunkttrihen, deren Meßbolzen am Fels sowie im Mauerwerk befestigt sind;
- Meßpunkten für Setzungsdehnungsmesser an Klüften und Rissen;
- fest installierten Meßuhren an Kluftspalten;
- Glas- und Gipsmarken an Mauerrissen (Abb 7).

Die Meßtechnik dieser Konfiguration wurde mit den Schwerpunkten einer unkomplizierten Anwendung, Robustheit und relativ geringer Kosten ausgewählt. Die bisherigen Meßergebnisse zeigen zum Teil sehr deutliche Veränderungen gegenüber den Nullmessungen. Aufgrund der starken Temperaturabhängigkeit der vorgenannten Meßeinrichtungen sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch noch keine sicheren Aussagen möglich. Konkrete temperaturbereinigte Werte können erst nach Auswertung eines längeren Meßzeitraumes gemacht werden.

Schadensursachen

Bei historischen Bauwerken sind die Ursachen für Bauwerksschäden in der Regel komplexer Natur. Selten ist ein Schaden einzig nur einer Ursache zuzuordnen. Häufig wirken verschiedene Schadensfaktoren zusammen bzw. bedingen einander, da ein Faktor allein noch keine Schädigung erzeugt. Dies ist auch im Bereich der Heidecksburg mit großer Wahrscheinlichkeit der Fall. Obwohl infolge der noch nicht abgeschlossenen Baugrund- und Gründungsuntersuchungen und Bewegungsmessungen gegenwärtig keine gesicherte Diagnose möglich ist, können an der Heidecksburg folgende Hauptfaktoren angenommen werden:

1. Tektonisch bedingte atektonische Bewegungen im tieferen Untergrund durch Auslaugung und Blockbewegungen, die zu einer Verbiegung, Zerrüttung und Verstellung der Schichten des Plattendolomits im Gründungsbereich der Heidecksburg führten, belegt durch parallel zum Saaletal verlaufende offene Spalten im Plattendolomit unter dem 'Alten Rathaus', den staffelförmigen Abbruch des Plattendolomits vom Niveau der Heidecksburg bis

unter das 'Alte Rathaus', das unregelmäßige Schichteinfallen und die generell weit geöffneten Hauptkluftscharen (Abb. 5).

2. Bewegungen im oberen Gründungsbereich, verursacht durch unterirdische Erosion und Suffosion infolge des Eindringens von Wasser aus Oberflächenversickerung und defekten Wasser- und Abwasserleitungen in das zerrüttete Gebirge (Abb. 6).
3. Abkippen und Rotieren von Felsblöcken am Hang durch Verwitterung und Auflockerung. Möglicherweise sind die Schäden an der 'Alten Wache' auf einen solchen Vorgang zurückzuführen.
4. Hangrutschungen von Lockergesteinen auf vorgegebenen Gleitflächen. Dies war offensichtlich die Ursache für eine 1975 erfolgte Rutschung im nördlichen Bereich der Heidecksburg. An der Austrittsstelle des als Hundegraben bezeichneten ehemaligen Abwasserkanals war 1975 nach lang anhaltender Durchfeuchtung ein Hangrutsch entstanden, der die seitliche Begrenzung des nördlichen Zufahrtsweges mit erfaßt hat.
5. Verformungen im Bereich der 'Oberen Letten' infolge von Aufweichung, Quell- und Schrumpferscheinungen. Der Nordflügel der Heidecksburg ist zu großen Teilen direkt auf den 'Oberen Letten' gegründet. Diese verwitterten Tone weisen entsprechend Röntgenphasenanalysen einen hohen Anteil von quellfähigen Tonmineralen

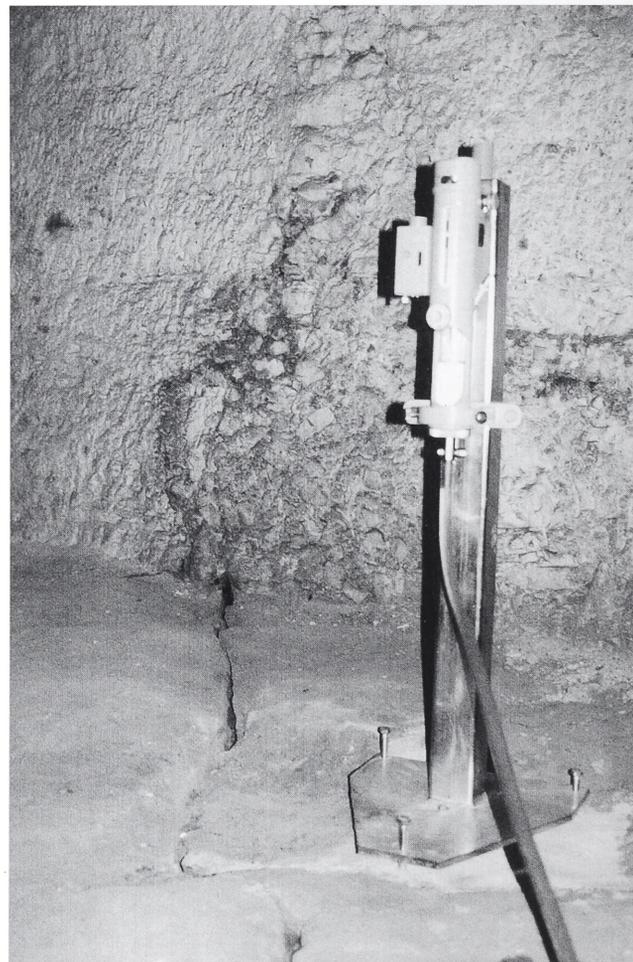


Abb. 7. Meßinstrumente im „Tiefen Keller“ der Heidecksburg (Foto: Verf.).

auf. Im Zusammenhang mit konzentrierter Wassereinwirkung, vor allem durch schadhafte Dachentwässerung sowie defekter Wasser- und Abwasserleitungen, ist mit Aufweichen des Tones und Quellen zu rechnen.

6. Allgemein schädigende Wirkung des Wassers im Zusammenhang mit den vorgenannten Ursachen. In den bereits genannten Schwerpunktsursachen spielt das Wasser als schadensauslösender Faktor die entscheidende Rolle. Ohne den Zufluß von Oberflächenwasser wären vermutlich keine oder nur deutlich geringere Schäden bei den vorgenannten Ursachen aufgetreten. Im Bereich der Heidecksburg gibt es zusätzlich zu den bereits genannten geologisch-geotechnisch bedingten Schadensursachen auch Schäden, für die der unkontrollierte Wasserzufluß die eigentliche Ursache ist. Die schweren Schäden des Mauerwerks infolge Durchfeuchtung sind hauptsächlich mit dem unkontrollierten Zufluß von Wasser aus dem ‚Hundegraben‘, einem jetzt abflußlosen ehemaligen Kanal, in den jedoch immer noch große Teile des Regenwassers der Dachrinnen des West- und Nordflügels geleitet werden, zurückzuführen. Des Weiteren ist in diesem Zusammenhang festzustellen, daß das Wasser der Dachrinnen auch ungewollt den gesamten Südhang östlich vom Haupttor bewässert. Dies führt zu einer langzeitlichen negativen Beeinflussung der Gebirgsfestigkeit. Auch die Wände des Südflügels weisen zum Teil sehr erhebliche Durchnässungserscheinungen auf. Diese aufsteigende Nässe führt zur Schädigung von Mauerwerk, Mörtel und Putz. Die Ursachen hierfür liegen bei defekten Dachrinnen und bei Wasserrohrbrüchen in der Vergangenheit. Weiterhin scheint sehr wahrscheinlich, daß aus den zum größten Teil der veralteten Frisch- und Abwasserleitungen ständig versickerndes Wasser zur Schädigung der Mauern beiträgt.

Schadenstherapien

Prognosen zum Schadensverlauf und Sanierungsvorschläge sind erst sinnvoll möglich, wenn die genannten Schadensfaktoren exakt erfaßt und nachgewiesen sind. Insbesondere ist zu klären, ob noch heute Bewegungen infolge Auslaugungserscheinungen, unterirdischer Erosion und Suffosion stattfinden. Dazu sind noch weitere Erkundungsmaßnahmen und langfristige Bewegungsmessungen erforderlich. Danach sind aktive Sicherungen zur Vermeidung der Schäden, insbesondere zum Verhindern des Eindringens von Wasser in den Untergrund und zum Schutz vor Verwitterung, zu konzipieren. Weiterhin sind passive Sicherungsmaßnahmen durch Reparaturen, konstruktive Verstärkungen und Baugrundvergütungsverfahren im Zusammenwirken von Tragwerksplanern, Denkmalpflegern, Architekten und Grundbauern zu entwickeln.

3. Runneburg

Die Baugrund- und Gründungsuntersuchungen, die Schadensdokumentation und die Sanierungstherapien zu diesem Objekt werden durch den Lehrstuhl für Grundbau der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar und von einem Ingenieurbüro ausgeführt. Die Bergakademie Freiberg wurde eingeschaltet, um den geologisch zu vermutenden Schadensanteil abzuklären. Neben einer geologisch-geotechnisch fundierten Baugrundmodellierung soll dabei vor allem der Einfluß geologischer Prozesse, wie Subrosion, Verwitterung und Hangbewegungen, untersucht wer-

den. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf diesen Teil.

Lage, Bauwerk, Baugeschichte

Die Runneburg befindet sich am westlichen Ortsrand der Stadt Weißensee nördlich von Sömmerda auf einem Hügel, der im Mittelalter von drei Seiten von Sumpf bzw. flachen Seen umgeben war. Bei der Runneburg in Weißensee handelt es sich um einen Bauwerkskomplex, der im 9. Jahrhundert 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. Jahrhundert, um 1578 und nach 1600 bauen auf der noch erhaltenen aus der Zeit um 1170 stammenden Kernanlage auf.

Gründung

Entsprechend dem früheren Stand der Baukunst wurde die Gründung als Flachgründung aus teilweise unvermörteltem Bruchsteinmauerwerk auf der damals oberflächlich anstehenden organischen limnischen Tonschicht sowie dem Verwitterungston des Keuper ausgeführt.

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

Bauwerksschäden

Die Burg ist insgesamt in einem sehr schlechten baulichen Zustand. Die größten Schäden sind am Turm und am Palas zu verzeichnen. An der Südwestecke des Turmes, aber auch am Palas, ist bereits verschiedentlich 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. Im Jahre 1979/80 erfolgte ein Sanierungsversuch der Gründung und des Mauerwerks mittels Zementinjektionen, wobei infolge Ettringitbildung zusätzliche Schäden verursacht wurden.

Geologie

Die Runneburg liegt im zentralen Bereich des Thüringer Beckens mit folgendem Schichtenaufbau:

- | | |
|---|--|
| 1. Auffüllung | toniger Bodenabtrag, Bauschutt; |
| 2. quartärer limnisch-fluviatiler Ton | Ton, organisch durchsetzt, ausgeprägt plastisch; |
| 3. quartärer Verwitterungston der Keupertonsteine | Ton, ausgeprägt plastisch; |
| 4. Keupertonsteine | Tonsteine, plattig, klüftig, oben Gips, unten auch Anhydrit führend. |

Im Nordosten treten lokal noch quartäre fluviatile Kiese auf. Für die Schadensdiagnose ist vor allem der organisch durchsetzte Ton (Schicht 2) von Interesse, da diese Schicht teilweise als Gründungsschicht auftritt. Wie mikropetrographische Untersuchungen ergeben haben (8), handelt es sich dabei nicht um eine Bodenbildung, wie zuerst zu vermuten

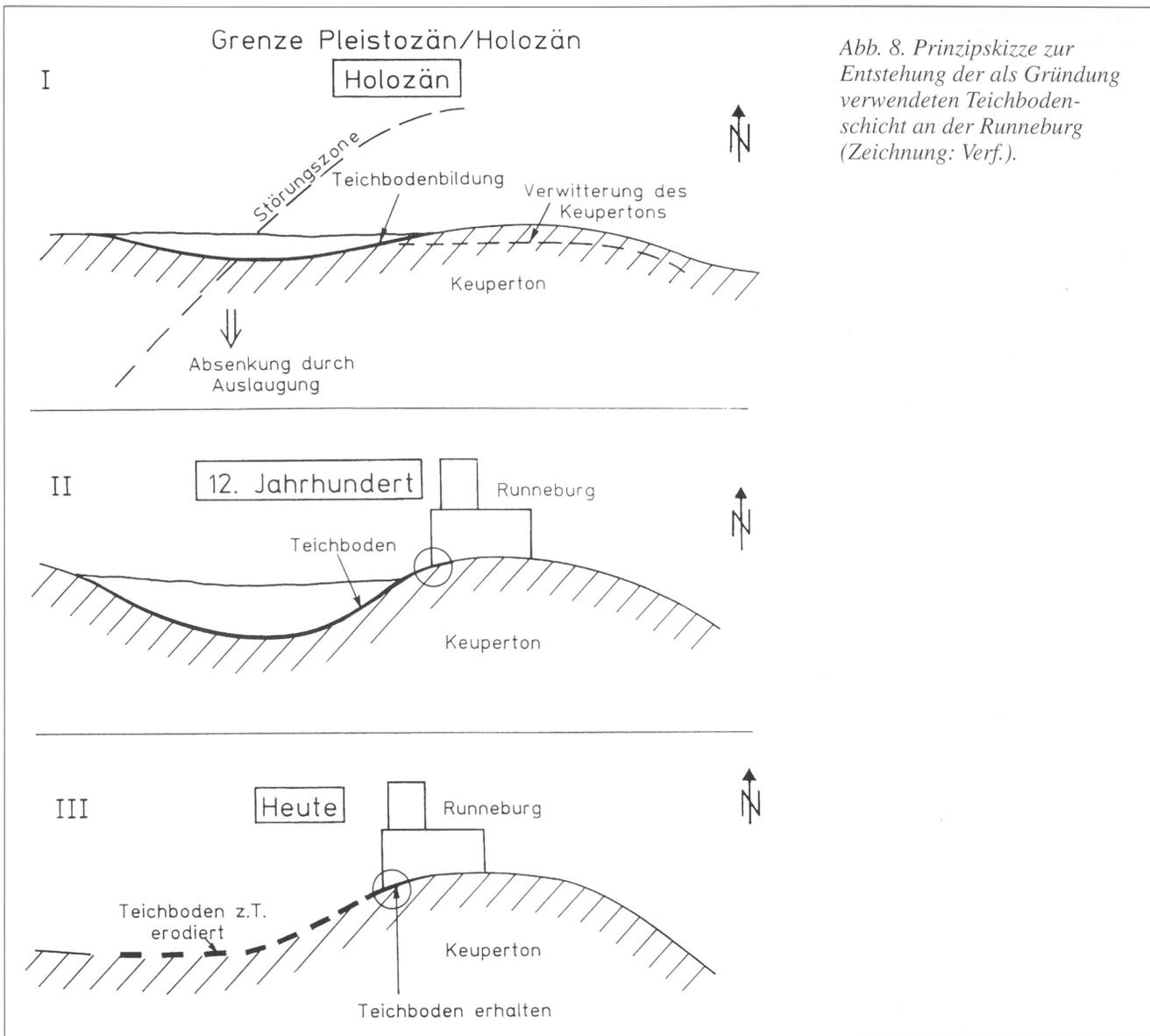


Abb. 8. Prinzipskizze zur Entstehung der als Gründung verwendeten Teichbodenschicht an der Runneburg (Zeichnung: Verf.).

war, sondern um eine holozäne limnisch-fluviatile Teichablagerung. Die heutige ungewöhnliche Hochlage ist nur durch bis unmittelbar in die Gegenwart reichende Auslaugungsprozesse des Gipses und Anhydrits der Keupertonsteine und -mergel deutbar. Die vermutliche Entstehungsgeschichte dieser Schicht soll in Abb. 8 erläutert werden. Neben der hohen Plastizität weist diese Schicht infolge organischer Substanz und Wechsellagerungstonminerale ein bedeutendes Schrumpf- und Quellvermögen auf. Auch der unter dieser Schicht liegende Verwitterungston der Keupertonsteine (Schicht 3) ist hochplastisch und ebenfalls schrumpf- und quellfähig, wie die Röntgenphasenanalyse zeigt. Bei den unter dem Ton ohne scharfe Grenze allmählich auftretenden Festgesteinen handelt es sich um Tonstein-Schluffstein-Wechsellagerungen mit eingeschalteten Gipsen. Die Gipse treten sehr unregelmäßig auf und unterliegen in Mächtigkeit und Verbreitung erheblichen örtlichen Schwankungen. Bis zu einer Tiefe von 15 m wurde Gips überwiegend in Zentimeter- bis Dezimeterlagen mit einem Gesamtanteil am Kerngewinn von 30 bis 40 % ermittelt. Ab etwa 10 m Tiefe tritt neben dem Gips auch Anhydrit auf. Einzelne zentimeterdicke Fasergipslagen weisen auf er-

folgte Lösungsvorgänge und Sekundärmineralisation hin. Die Keupertonsteine sind schwach geklüftet, wobei vereinzelt Fasergipsbestege auf den Klüftflächen sichtbar sind. Die natürlichen Schichten liegen flach und offensichtlich ungestört übereinander. Der organisch durchsetzte Ton (Schicht 2) keilt dabei zur Mitte der Burg hin aus und fällt flach zu den Rändern der Burg hin ein. Die Basis des Tonsteinersatzes (Schicht 3) ist unregelmäßig ausgebildet je nach der Stärke der Verwitterung, die im wesentlichen durch das einsickernde Wasser gesteuert wird. 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.

Exogene geologische Prozesse

Subrosion ist nachweislich bis in die jüngste Vergangenheit ein wesentliches Element der heutigen Lagerung des Schichtverbandes mit Schichtverbiegungen und Gefügeauflockerungen. Die rezente Subrosion ist umstritten. Aufgrund der hohen Sulfatkonzentration des Grundwassers

sind Subrosionsprozesse im tieferen Untergrund unwahrscheinlich. Bei Frischwasserzufuhr durch defekte Leitungen und ungenügenden Oberflächenwasserabfluß kann Subrosion im oberen Bereich unterhalb der Gründung nicht ausgeschlossen werden. Klärung der hydrologischen Verhältnisse und langfristige Beobachtungen erweisen sich als erforderlich.

Die Verwitterung der Keupertonsteine zu Ton ist nachgewiesen und wirkt zusammen mit der Subrosion gefügeauflockernd. Durch die Vertonung selbst kommt es dabei zu erheblichen Festigkeitseinbußen. Im Zusammenhang mit der starken Erhöhung der Aktivität sind bei Wasserzufuhr Aufweichungen und Quellerscheinungen, bei Austrocknung Schrumpferscheinungen möglich. Neben den damit verbundenen vertikalen Verformungen lassen sich infolge der geometrischen Situation auch horizontale Bewegungen nicht ausschließen. Für die Runneburg können diese Erscheinungen bisher nur als Möglichkeit angedeutet werden. Für den quantitativen Nachweis sind noch intensive zielgerichtete Untersuchungen erforderlich.

4. Schloß Nossen

Lage, Bauwerk, Baugeschichte

Schloß Nossen liegt auf einer steilen Anhöhe im Norden der Stadt südlich der Freiburger Mulde bei 258 m NN. Der ca. 50 x 120 m große ovale Schloßkomplex wurde 1180 erstmals erwähnt, mehrfach umgebaut und diente unter anderem als Gefängnis für Gräfin Cosel. Es gehört zu den wenigen noch heute bewohnten Burgen in Sachsen (Abb. 9). Die untersuchte kritische Felswand unterhalb des Westflügels wurde um 1545 bei Vertiefung des Burggrabens angelegt.

Gründung

Der Westflügel besitzt eine Flachgründung aus Bruchstein und Ziegelmauerwerk. Das Gründungsmauerwerk ist ohne Einbindung unmittelbar auf frostveränderlichem, verwittertem bis zersetztem Festgestein gegründet.



Abb. 9. Schloß Nossen
(Foto: Verf.).

Bauwerksschäden

Am westlichen steilen Felshang ist durch natürlichen Massenabtrag infolge Verwitterung das Gründungsmauerwerk teilweise bis 0,3 m unterschritten und schwebt frei in der Luft. Zwar sind bisher noch keine Mauerwerksverformungen aufgetreten, was bei der derzeitigen Situation nur eine Frage der Zeit ist, doch existiert in den unterschrittenen Bereichen eine akute Standsicherheitsgefährdung, so daß eine Sanierung kurzfristig erforderlich ist (Abb. 10). Zeit für Forschungsarbeiten ist hier nicht vorhanden, jedoch sind die Ursachen deutlich erkennbar, so daß es bei diesem Objekt darauf ankommt, die Planung und Ausführung der Sanierungsarbeiten ingenieurgeologisch zu begleiten, damit neben dem gewünschten Sanierungserfolg auch eine möglichst denkmalchonende Sanierung erfolgt.

Geologie

Das Schloß liegt im Bereich des Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirges. Der kritische Westhang besteht aus altpaläozoischen Phylliten, die varistisch gefaltet, geschiefert und bruchtektonisch gestört sind.

Exogene geologische Prozesse

Der maßgebende geologische Prozeß besteht in der Verwitterung der witterungsempfindlichen Phyllite, die über die Gefügeentfestigung bis zum völligen Zersatz führt. Der Fels wurde 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 1,5 m breite 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.



Abb. 10. Gründungsdetail an der Felswand des Westflügels von Schloß Nossen (Foto: Verf.).

Ausgangspunkt ist dabei die mit der Verbreiterung und Vertiefung des Burggrabens im Jahre 1545 erfolgte Versteifung des Hanges.

Ingenieurgeologische Untersuchungen

Der zu sanierende Hangbereich wurde geologisch kartiert. Das für die erforderlichen Standsicherheitsnachweise maßgebende Trennflächengefüge wurde dabei mittels stereo-

photogrammetrischer Auswertung erfaßt. Mit einer klein-kalibrigen Kernbohrung wurde die Mächtigkeit der Auflockerungszone erkundet. Vom angewitterten Phyllit wurden gesteinsmechanische Kennwerte ermittelt. Ziel der Untersuchungen sind die Erstellung eines möglichst realen geotechnischen räumlichen Modells als Grundlage für Standsicherheitsuntersuchungen und eine möglichst naturgemäße Sanierung.

Literaturhinweise

- (1) Autorenkollektiv: Rudolstadt eine Residenz in Thüringen, Leipzig 1993.
- (2) Thauer, G.: Geotechnische Analyse von Bauschäden am Beispiel der Heidecksburg/Rudolstadt, unveröff. Studienarbeit, Freiberg 1992.
- (3) Preiß, W.: Übersicht über den konstruktiven Bauzustand der Stützmauern von Schloß Heidecksburg, unveröff. Man., Dresden 1976.
- (4) Hoffmann, G.: Ingenieurgeologisches Gutachten zu Schadstellen im Bereich des Schloßkomplexes Heidecksburg, unveröff. Man., Gera 1976.

- (5) Autorenkollektiv: Protokolle zur Unterspülung Schloßcafe und eines Mauersturzes östlich vom Schloßcafe vom 24., 26. und 28. Juni 1975 sowie Ergänzung vom 4.7.1975, unveröff. Man., Rudolstadt 1975.
- (6) Puff, P.: Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte der Deutschen Demokratischen Republik, Blatt Rudolstadt, 5234, Zentrales Geologisches Institut, Jena 1963.
- (7) Lynx Geosystems Inc.: The Lynx-System, User Documentation, Vancouver 1991.
- (8) Volkman, N.: Mikropetrographische Untersuchung an holozänen Bodensedimenten im Gebiet der Runneburg, unveröff. Man., Freiberg 1993.

Ralf-Jürgen Erber/Ralf Thiele

Zerstörungsarme Geometrie- und Zustandsermittlung für historische Gründungen, bestehend aus Naturstein, Ziegel und Holz

1 Einleitung

Für den Erhalt und die Instandsetzung von Burgen und Schlössern ist in vielen Fällen die Kenntnis von Geometrie, Zustand und Kinematik der Gründungen notwendig. Aus dem Zustand von Gründungsteilen lassen sich Schadensursachen und die Notwendigkeit von Sicherungskonstruktionen ableiten.

Die Erarbeitung dieser Daten ist jedoch aus boden- und bauhistorischen Aspekten mit möglichst wenig Substanzeingriffen (zerstörungsfrei) zu realisieren. Anhand von Fragen und Problemen bei der Arbeit im historischen Gründungsbereich werden Verfahren vorgestellt, welche durch die Hochschule Leipzig erarbeitet, eingesetzt bzw. weiterentwickelt wurden.