

Felssicherungsarbeiten an der Burgruine Drachenfels (Südpfalz)

FRIEDRICH HÄFNER & UWE SCHROEDER

Kurzfassung: Aus dem Aufsatzfelsen der Burgruine Drachenfels (Südpfalz) drohte ein ca. 36,5 m³ großer Felsblock abzustürzen. Begleitet durch fortwährende Kontrolle der Felsbewegungen mittels Distanzmessungen, wurde die Felspartie zunächst temporär mit Drahtseilen umgürtet und schließlich dauerhaft mit Felsnägeln und Zementfüllung der Abrißspalten gesichert. Grundlage für Entwurf und Ausführung der Sicherungsmaßnahmen war die möglichst geringe Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes der Burgruine.

Abstract: A large boulder (approximately 36.5 m³) threatened to fall down from the upper part of the Drachenfels (Südpfalz) with its famous castle ruin. Attended with permanent control of the rock movement by distance measuring, the first step was to use temporary steel rope belting. The boulder was secured finally with bolts and cementfilling of the fissures. Minor detracton of the appearance of the castle had been basis of design and implementation of the securing measures.

1. Einleitung

Aussagen über die Eigenschaften von Boden und Fels werden zunehmend auch bei der Sanierung bzw. Sicherung von Kultur- und Naturdenkmälern vom Ingenieurgeologen erwartet. Sind konstruktive Sicherungsmaßnahmen erforderlich, so spielen denkmalpflegerische Gesichtspunkte bei der Konzeption der Arbeiten eine entscheidende Rolle.

Am Beispiel der Burgruine Drachenfels bei Busenberg (Abb. 1) wird die Sicherung eines absturzgefährdeten Felsblockes von der ersten Bestandsaufnahme bis zur Durchführung der Arbeiten dargelegt. Ergänzt werden die Ausführungen durch Angaben zur Geschichte der Burgruine, der regionalen Geologie und der felsmechanischen Kennwerte.

2. Die Burgruine als Kulturdenkmal

Der Drachenfels ist eine von etwa 80 mittelalterlichen Burgruinen in der Region Südpfalz-Nordvogesen. Er liegt auf einer heute dicht bewaldeten Bergkuppe ca. + 367 m NN. Das Felsmassiv teilt sich in einen Ostfelsen von ca. 100 m Länge an der Basis und ca. 12 m Breite und einen Westfelsen von ca. 50 m Länge und 11 m Breite (WENZ 1989, S. 57; Abb. 2). Der Ostfelsen ist auf der Südseite ca. 27 m hoch; davon entfallen ca. 10,5 m auf den Aufsatzfelsen, dessen Sicherung Gegenstand der nachfolgend beschriebenen Maßnahme war. Etwa 60 der genannten Burgen besitzen eine Felsformation als Kern, um die sich die baulichen Anlagen gruppierten (WENZ 1989, S. 1). Die Felsen selbst trugen früher wohl überwiegend Holzaufbauten, die heute verschwunden sind (WENZ 1989, S. 58). Geblieben sind die sichtbaren Bearbeitungsspuren der Felsoberflächen und die Ergebnisse des vorgenommenen Felsabtrags in Form von Treppenaufgängen, Kammern, Durchlässen, Fensterhöhlungen und Standflächen für die Gründung von Aufbauten. Die steinernen Bauteile der unteren Burganlage dürften,

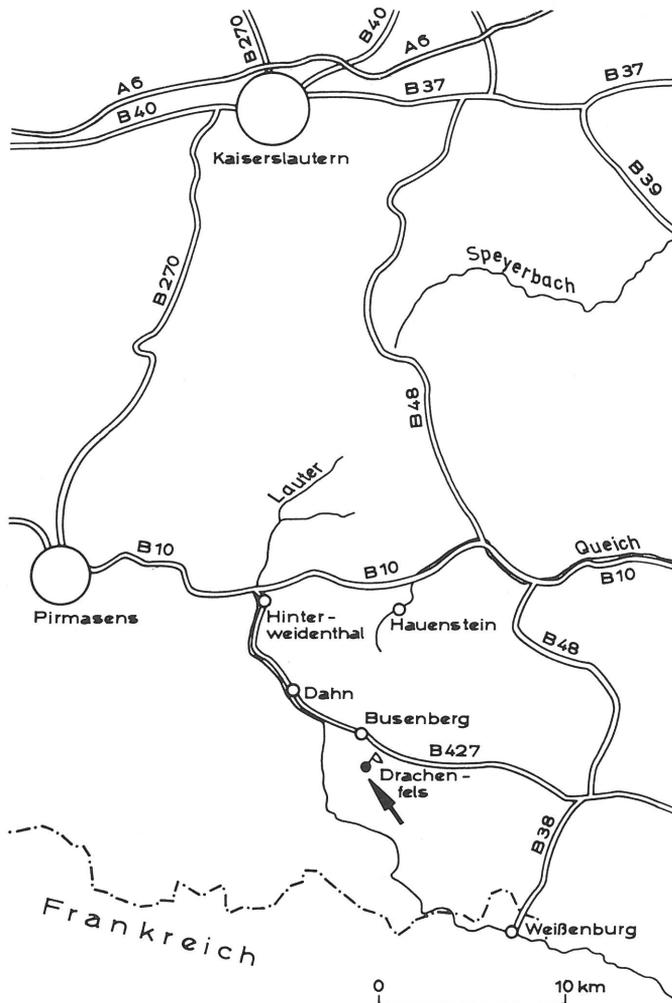


Abb. 1: Lage der Burgruine Drachenfels.

soweit dies beim Ausgrabungsstand 1992 erkennbar war, den nach Süden abfallenden Felssockel teilweise als Gründungshorizont in Anspruch genommen haben.

Der Drachenfels, dessen erste urkundliche Erwähnung in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts liegt, kann als herausragender Vertreter des Typs Felsenburg gelten. Die Burggeschichte ist durch wechselnde Besitzverhältnisse und ab dem späten 14. Jahrhundert durch Ganerben-gemeinschaften geprägt (ECKARDT & KUBACH 1957, S. 164). Die endgültige Zerstörung erfolgte 1523 im Zuge der kriegerischen Auseinandersetzungen zwischen dem Gemeinen Franz von Sickingen und dem Kurfürsten von der Pfalz und dessen Verbündeten. Aufgrund des Grabungsbefundes kann als sicher gelten, daß nach dieser Zeit noch eine beschränkte Nutzung von Teilen der Unterburg stattgefunden hat (frdl. mündl. Mitt. von Herrn Dr. SCHULZ, Landesamt für Denkmalpflege).

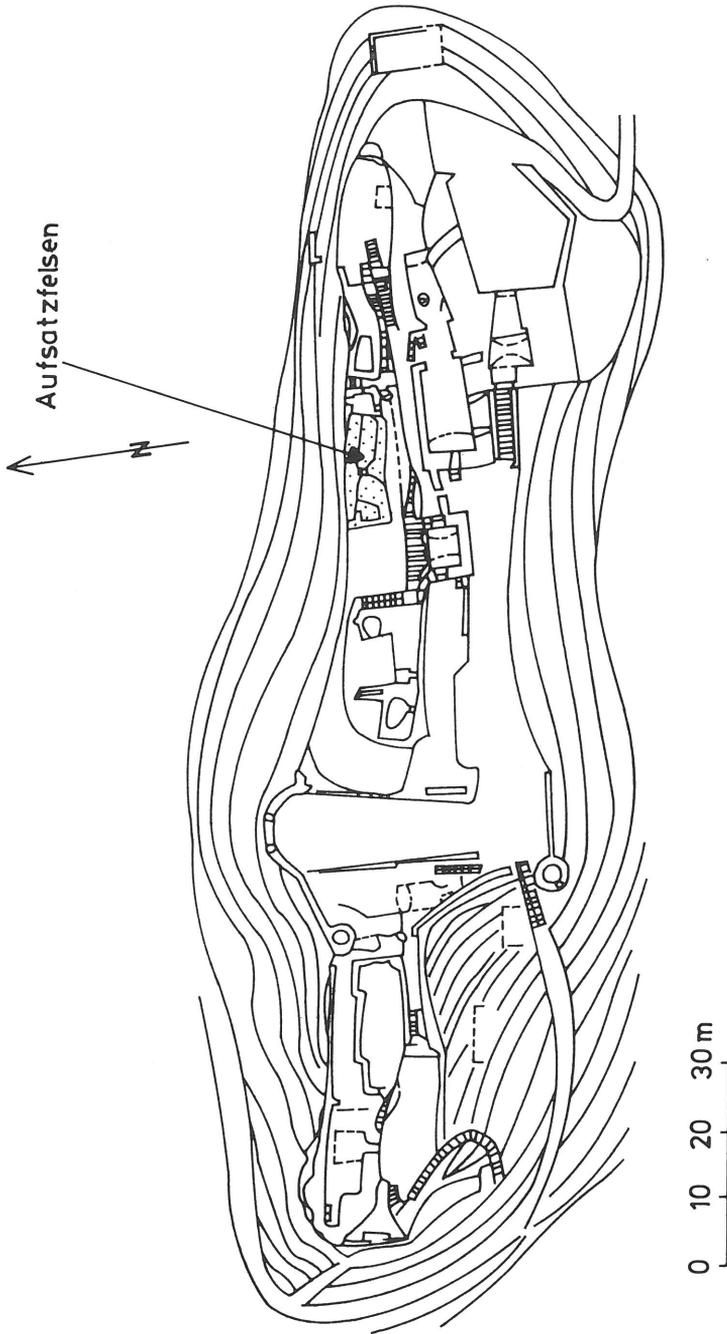


Abb. 2: Grundriß der Burgruine Drachenfels (leicht verändert nach WENZ 1989).

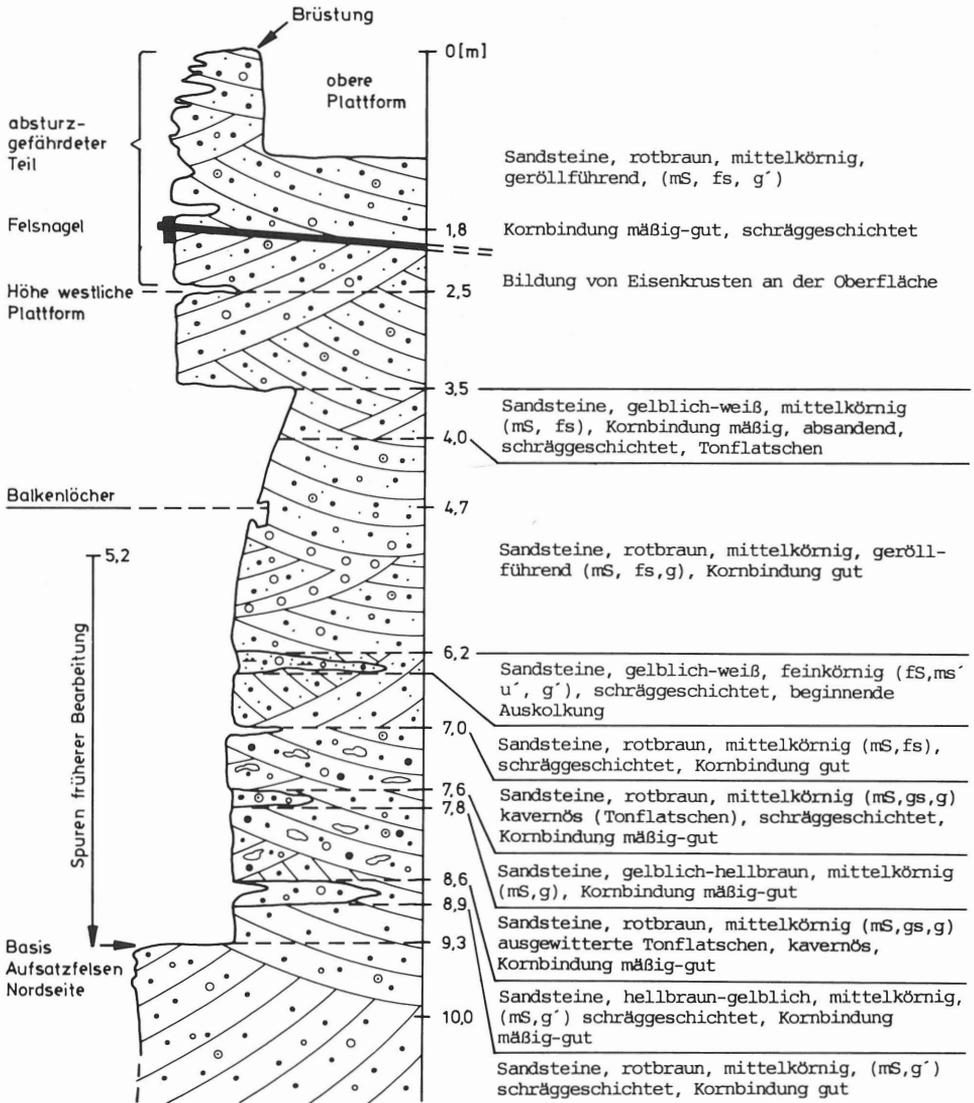


Abb. 3: Gesteinsabfolge des Aufsatzfelsens.



Abb. 4: Ansicht des Aufsatzfelsens von Westen, Gesamthöhe ca. 10 m (Foto HÄFNER 13. 9. 1990).

3. Zur Geologie der Burgruine

Die Burgruine liegt im Verbreitungsgebiet des pfälzischen Buntsandsteins. Das felsbildende Schichtglied, dem die Ruine zuzuordnen ist, gehört zu den Trifelsschichten des Hauptbuntsandsteins. Es sind klastische Sedimente episodisch wasserführender Flußsysteme, die in einer Wüste abgelagert wurden und eine Mächtigkeit von 80 bis 200 m erreichen (DACHROTH 1988, S. 292). Nach der französischen geologischen Karte des Blattes 168 Lembach 1 : 50 000 (BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES 1989) liegt die Basis der Trifelsschichten im Raum Busenberg bei ca. + 335 m NN, demnach ca. 2 bis 3 m unterhalb der sichtbaren Untergrenze der Felswand des Drachenfels.

Die aufgeschlossene Wand besteht aus einer Abfolge meist mittelkörniger, überwiegend rotbrauner Sandsteine mit annähernd söhligler Schichtlagerung und interner Schrägschichtung (Abb. 3). Für den Mineralbestand ist aus Untersuchungen an ähnlichen Gesteinen

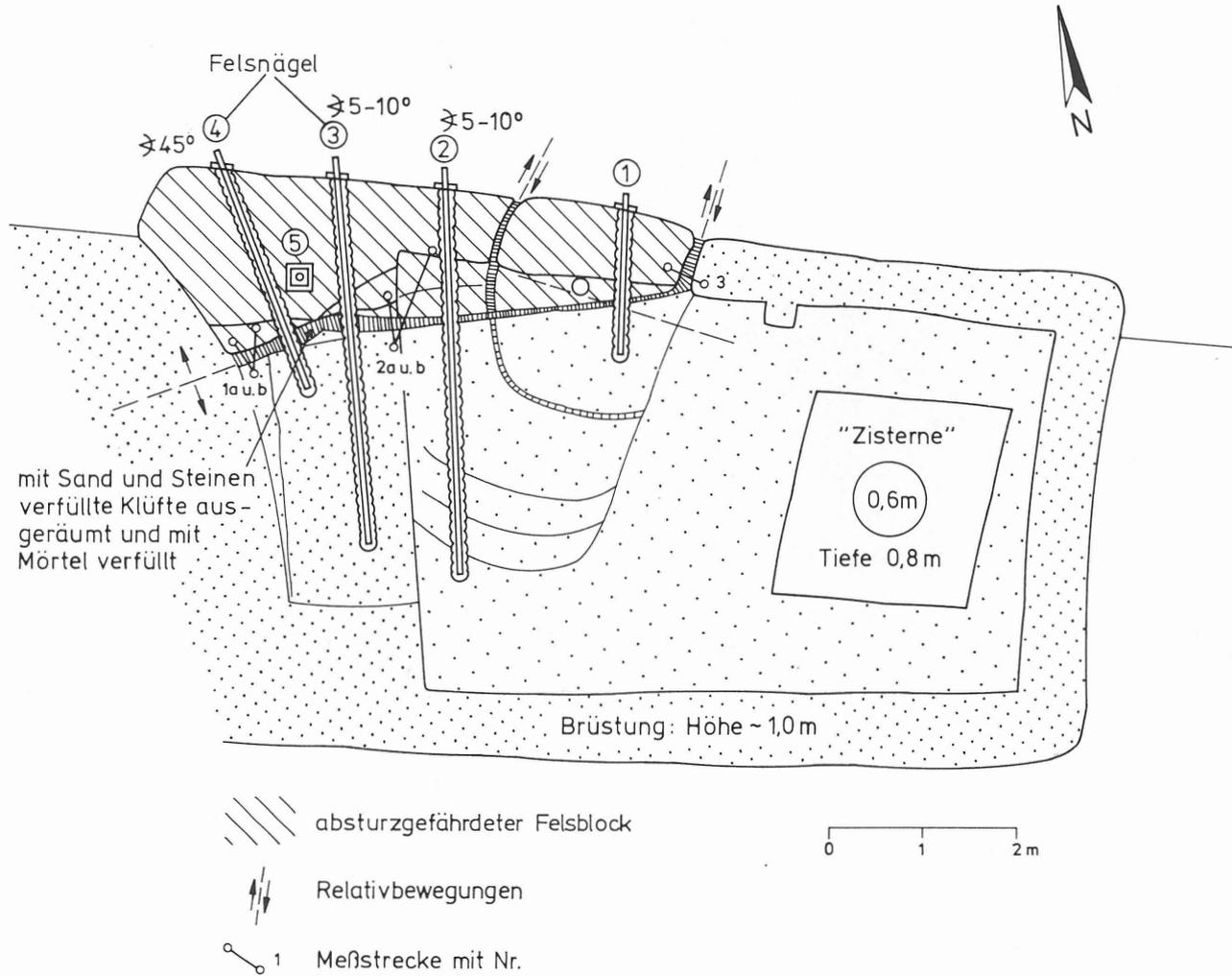


Abb. 5: Teilgrundriß des Aufsatzfelsens mit absturzgefährdetem Bereich.

ein Quarzgehalt > 80 Vol.-%, als Nebengemengteile Feldspäte, Gesteinsbruchstücke und Fe-Oxide zu erwarten. Das Bindemittel ist überwiegend kieselig, untergeordnet tonig-ferri-tisch. Beim Verwitterungsangriff neigt die Abfolge zur Bildung von vorspringenden Felsbänken und Hohlkehlen. Hervorragende Beispiele typischer Kleinverwitterungsformen des pfälzischen Buntsandsteins wie die Netzleisten – oder Wabenverwitterung wurden speziell vom Drachenfels beschrieben und dokumentiert (z. B. HÄBERLE 1913, S. 52 f., HÄFNER & BÖHLER 1987, S. 84 f.).

Die Gesteinsabfolge des Aufsatzfelsens ist in Abb. 3 detailliert dargestellt; sie ist nicht sehr differenziert. Zu erwähnen sind einzelne gebleichte, gelblich-weiße Horizonte, die aber nur wenige Meter weit zu verfolgen sind. Außerdem sind im unteren Profilabschnitt flache Tongerölle bis zu 35 cm Durchmesser zu beobachten, welche nach Auswitterung als lagenartig angeordnete, langgezogene Kavernen in Erscheinung treten.

4. Ingenieurgeologische Bestandsaufnahme des absturzgefährdeten Felsblocks

4.1. Topographie/Situationsbeschreibung

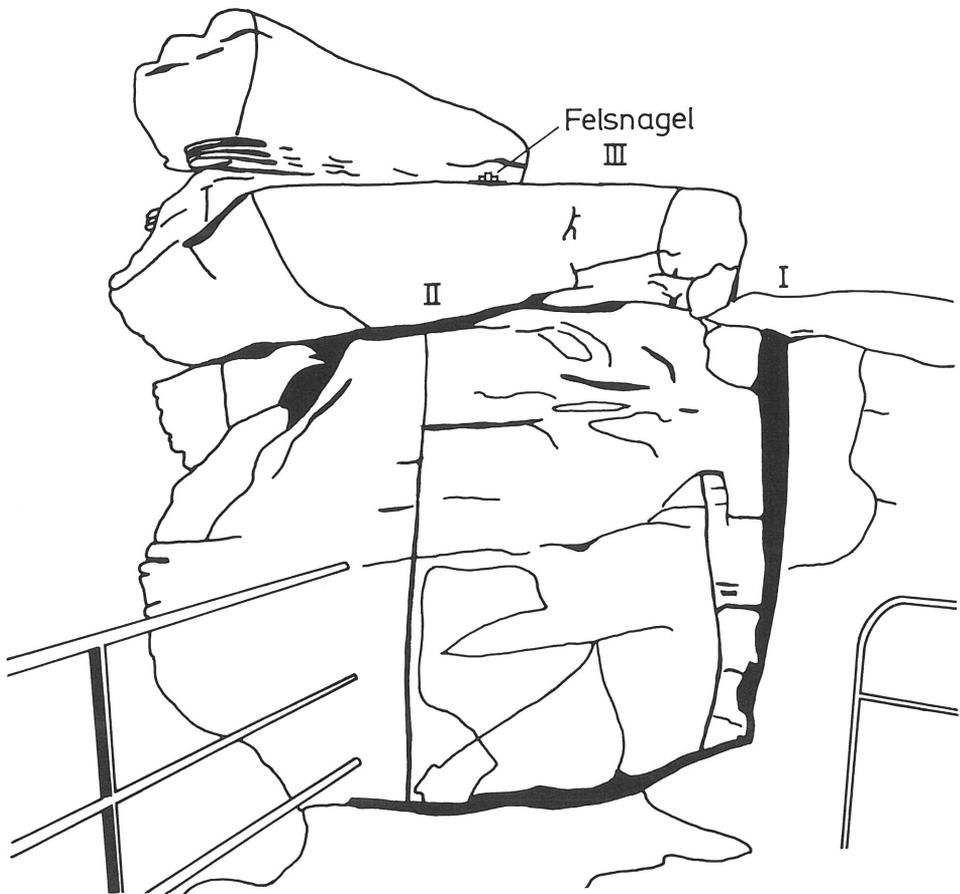
Der absturzgefährdete Felsblock befindet sich an der Nordwestecke des Gipfelplateaus der Burgruine (Abb. 2, 4 und 5). Das mit einfachen Hilfsmitteln vorgenommene Aufmaß ergab für den Felsblock eine maximale Höhe von 3,2 m, eine Breite von 2 m und eine Länge von 5,7 m. Das Gipfelplateau hat einschließlich der es begrenzenden Felsteile eine Ausdehnung von ca. 10×6 m². Auf der Talseite des Blockes befand sich ein kleiner Baum mit verzweigtem, in Spalten/Klüfte reichendem Wurzelwerk.

Das Gipfelplateau ist Teil des Aufsatzfelsens der Burgruine (Abb. 4). Der Aufsatzfelsen weist an seiner Basis eine Länge von ca. 15,5 m (Ost-West) auf, während die Schmalseite (Nord-Süd) mit 4,0 m gemessen wurde. Die Höhe des Aufsatzfelsens beträgt bis zur oberen Brüstung des Gipfelplateaus 10,5 m auf der Südseite, 9,3 m auf der Nordseite. Die äußere Form des Aufsatzfelsens wird weitgehend von natürlichen Verwitterungsformen bestimmt. Hervorzuheben ist eine ca. 1,3 m mächtige, auskragende Sandsteinbank im oberen Drittel des Aufsatzfelsens. Die „innere“ Ausformung des Felsens geht auf künstlichen Abtrag und Bearbeitung zurück. Ein kleiner, dünnschaliger Teil im Bereich des Gipfelplateaus des Aufsatzfelsens (Nordwestseite, heute mit Geländer, Abb. 4) ist vermutlich nach Aufgabe der Burg abgestürzt.

4.2. Ingenieurgeologische Beurteilung

Bei der ersten Ortsbesichtigung am 19. 9. 1990 mußte schon aufgrund der vorgefundenen Situation (s. unten) von einer akuten Absturzgefahr des betreffenden Felsblocks ausgegangen werden (s. Kap. 4.4. und 5.1.). Durch eine teilweise mit Sand und Steinen verfüllte Spalte war der Felsblock vollkommen vom standfesten Fels getrennt. Die Aufstandsfläche des Blockes war zumindest an der Westseite (Abb. 6) durch Auswitterung einer dünnen Sandsteinlage von weniger als 5 cm Mächtigkeit auf wenige, fast punktförmige Materialkontakte reduziert. Der Felsblock wird etwa in mittlerer Höhe in Längsrichtung (s. Abb. 5 und 6) von einer mit 40° talwärts geneigten Kluft durchtrennt. An dieser Kluft haben, wie am Versatz der Abrißkanten deutlich wird (Abb. 7), bereits Bewegungen stattgefunden. Der gesamte Block hat sich um mehr als 5 cm talwärts bewegt und ist gleichzeitig um 4 bis 5° gekippt.

Bei einem Absturz waren Personen insbesondere dann gefährdet, wenn sie sich zum Zeitpunkt des Ereignisses im Bereich des Gipfelplateaus des Aufsatzfelsens aufgehalten hätten. Nach einem freien Fall von ca. 30 m wäre der Felsblock im bewaldeten Hang des Burgberges aufgeschlagen und vermutlich nach Zerstörung einiger Bäume zum Stillstand gekommen.



I Hauptabrißspalte (s. Abb. 5)
II Abrißspalte
III Felsnagel 5 (s. Abb. 5)

Abb. 6: Ansicht der absturzgefährdeten Felspartie von Westen.

Gebäude oder Wege befinden sich nicht unmittelbar unterhalb des absturzgefährdeten Felsblockes. Ausschlaggebend für die Konzeption der Sicherungsmaßnahmen waren hauptsächlich denkmalpflegerische Gesichtspunkte (s. Kap. 5.).

4.3. Kennwerte

Bei Untersuchungen zur Verwitterungsanfälligkeit von Sandsteinen wurden bereits 1987 zwei Proben an der Basis des Aufsatzfelsens (Westseite) entnommen und untersucht. Es waren Prüfkörper eines rotbraunen, angewitterten Sandsteins, die als repräsentativ für große Teile des Felsens gelten können. In der Kornverteilung ergibt sich eine enge Stufung im Sandbereich mit einem Gesamtanteil von 96 Gew.-%, Schluff- und Kiesanteile liegen bei 0 bis



Abb. 7: Detailansicht einer Bewegungsfuge mit deutlichem Versatzbetrag im oberen Teil des absturzgefährdeten Felsblockes (Foto HÄFNER 13. 9. 1990).

3 Gew.-%. Die mittlere Trockenwichte beträgt $19,85 \text{ KN/m}^3$, die einaxiale Druckfestigkeit nach DIN 52105 schwankt zwischen $14,8 \text{ MN/m}^2$ bei der einen und $39,2 \text{ MN/m}^2$ bei der anderen Probe.

Nach Untersuchungen in Sandsteinen der Trifelsstufe von GRESCH (1988) und SCHALAMZARI-Eskandari (1987) ist bei Atmosphärendruck mit einer Wasseraufnahme von 3 bis 9 Gew.-% und einer (kalkulierten) Porosität von 15 bis 30 Vol.-% zu rechnen. Die an den Proben des Drachenfels bestimmten Kennwerte fügen sich in die von GRESCH und SCHALAMZARI-Eskandari an Steinbruchmaterial bestimmten Werte von Sandsteinen der Trifelsstufe des Buntsandsteins ein. Aus diesem Vergleich jedenfalls läßt sich kein extrem starker Verwitterungszustand der Gesteine des exponierten Aufsatzfelsens am Drachenfels ableiten.

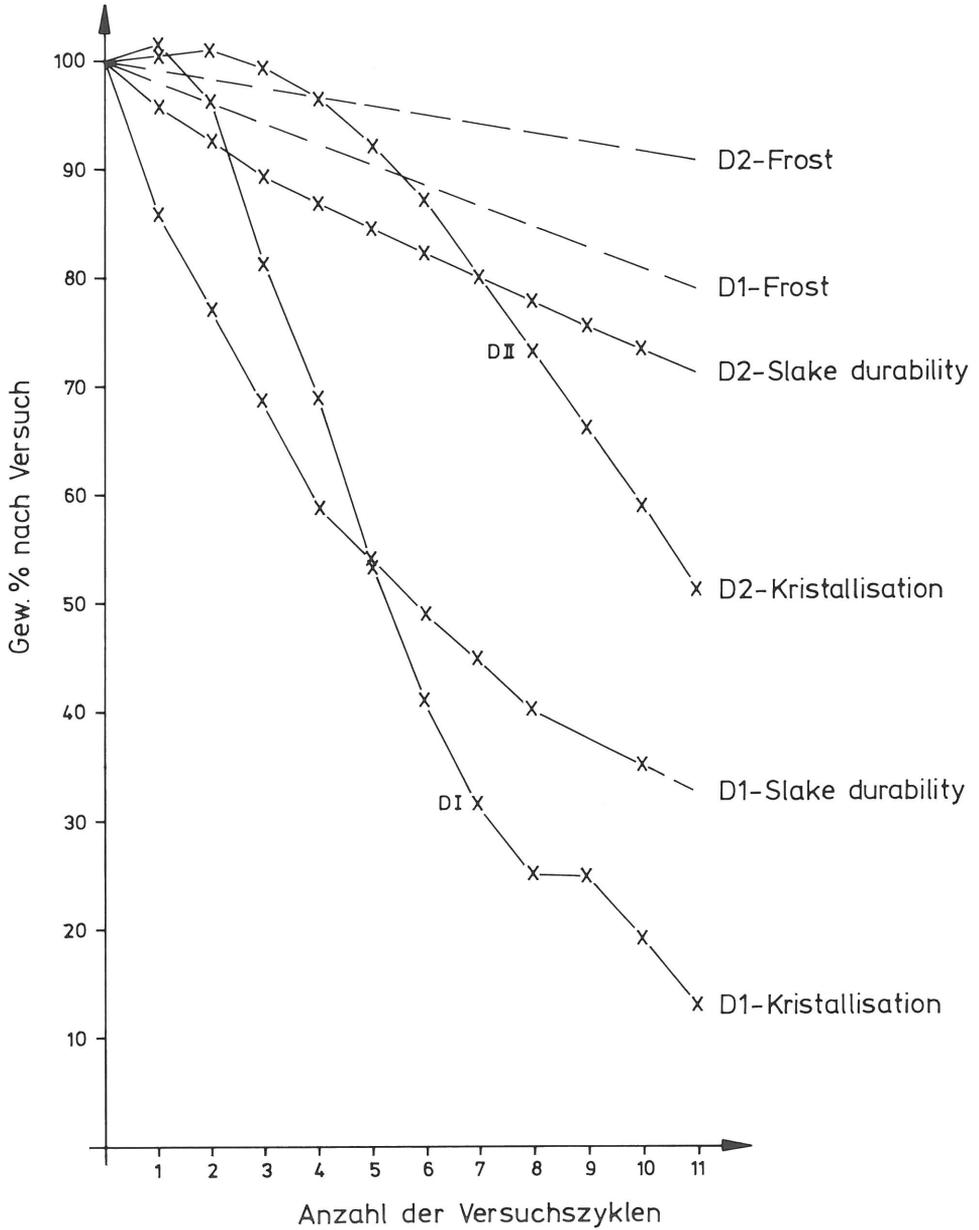


Abb. 8: Verhalten von zwei Sandsteinproben des Aufsatzfelsens im Frostversuch, Slake-Durability-Test und Kristallisationsversuch.

Bezüglich der Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel (DIN 52104), slake-durability-test und Kristallisationsversuch (DIN 52111) wird auf die in Abb. 8 dargestellten Ergebnisse verwiesen. Sind die untersuchten Proben im Frostversuch noch als mäßig veränderlich zu bezeichnen, ergibt sich im slake-durability-test und im Kristallisationsversuch eine mittlere bis extrem hohe Anfälligkeit. Die Bedingungen der Versuche werden in der Natur jedoch nicht erreicht, da u. a. die weitgehende Wassersättigung des nutzbaren Porenraumes in der Felswand kaum stattfindet. Insofern ergibt sich hinsichtlich der Beständigkeit des Felsens eine günstigere Prognose, als dies aus den Versuchsergebnissen scheinbar abzuleiten ist.

4.4. Meßprogramm

Zur Überwachung eventueller weiterer Bewegungen des Felsblocks wurden am 19. 9. 1990 zwischen standfestem Fels und Felsblock fünf Meßstrecken für ein Innenmeßgerät installiert (Abb. 5 und 9). Bei dem Innenmeßgerät handelt es sich um eine Meßschraube mit digitaler Ablesung. Die an den Enden des je nach benötigter Länge zusammenschraubbaren Meßgerätes vorhandenen Kugeln werden an mit Schlagankern im Fels befestigte Innensechskantschrauben angelegt. Bewegungen im Fels schlagen sich sofort in einer meßbaren Veränderung der Meßstrecke nieder. Die reproduzierbare Meßgenauigkeit im Gelände beträgt unter den oft schwierigen Einsatzbedingungen 0,05 bis 0,1 mm (Ablesegenauigkeit 1/1000 mm). Die Qualität der Meßreihe steigt, wenn die Messungen immer von derselben Person durchgeführt werden und die Meßschrauben möglichst gering aus der Meßachse geneigt sind. Die Meßachsen wurden so angeordnet, daß beim Auftreten von Bewegungen hier die größten Beträge zu erwarten waren.

Die graphische Darstellung der mit dem Innenmeßgerät gewonnenen Meßwerte zeigt Abb. 10. Aufgetragen sind die Veränderungen (+ = Öffnen der Spalte) der fünf Meßstrecken in mm gegen die Zeit. Bereits durch die erste Folgemessung am 19. 6. 1991 wurde die Einschätzung einer akuten Absturzgefahr des Felsblockes deutlich bestätigt. Die Meßstrecken und damit die Hauptabrißspalte hatten sich durchweg um 1,8 bis 2,8 mm aufgeweitet. Aufgrund dieser Meßergebnisse wurde der Felsblock vorläufig mit einer Umgürtung gesichert (s. Kap. 5.1.). Die Umgürtung schlug sich in einer Stagnation oder sogar einem Rückgang der Bewegungen nieder. Im Vorfeld der abschließenden Sicherungsmaßnahme wurde erneut eine starke Zunahme der talwärtigen Bewegungen des Felsblockes festgestellt. Nach Abschluß der Sicherungsarbeiten hat sich der Felsblock erwartungsgemäß stabilisiert.

5. Sicherungsmaßnahmen

5.1. Konzept

Bei den Überlegungen, in welcher Form eine Sicherung gegen den Absturz des labilen Felsblockes auszuführen ist, spielte der Rang der Burgruine als Kulturdenkmal eine entscheidende Rolle. An anderer Stelle hätte man den Abtrag des Felsblockes unter den gegebenen Umständen als technisch und wirtschaftlich günstigste Lösung empfohlen. Hier kam es jedoch darauf an, den Felsblock in seiner jetzigen Position gegen Absturz zu sichern und darüber hinaus diese konstruktive Sicherung so durchzuführen, daß keine erhebliche Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes eintrat.

Im Sommer 1991 wurde vor dem Hintergrund der bei den Messungen festgestellten erheblichen Bewegungszunahme beschlossen, den Felsblock vorläufig durch Umgürten zu sichern. Im August 1991 wurden fünf ca. 50 m lange Drahtseile (DU 20 mm verzinkt, Bruchlast 164 kN) um das gesamte Gipfelpodest einschließlich des absturzgefährdeten Felsblockes gelegt und mittels Hubzug auf ca. 1,3 t gespannt. Mehrmals mußten die Seile am Spannschloß nachreguliert werden. Der Antransport zum Gipfelplateau und der Einbau der Seile waren aufgrund der schwierigen äußeren Bedingungen zeitaufwendig.

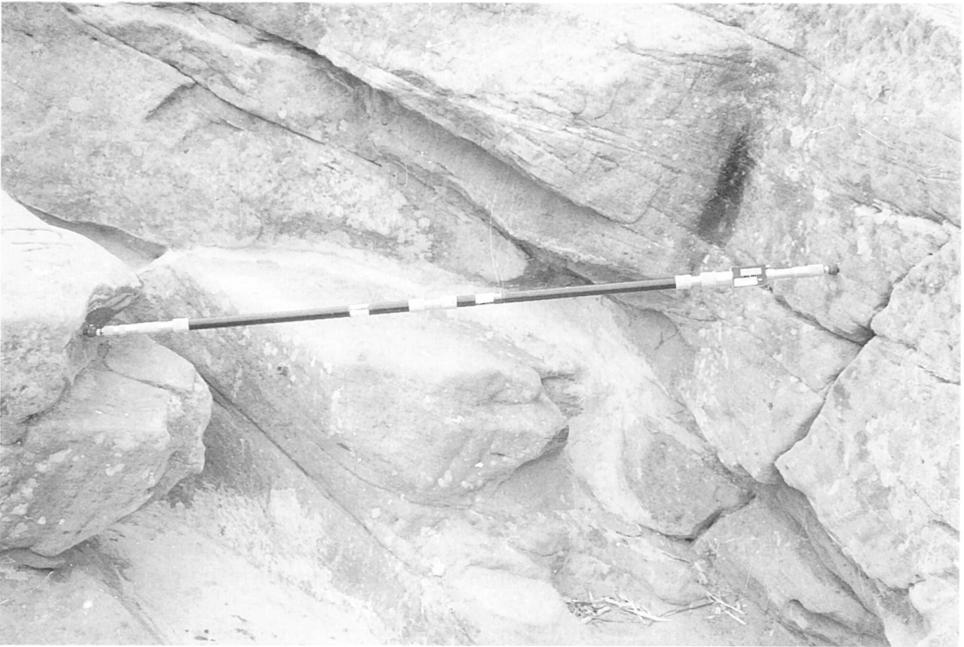


Abb. 9: Innenmeßgerät im Einsatz an Meßpunkt 2b (Foto SCHROEDER 29. 9. 1992).

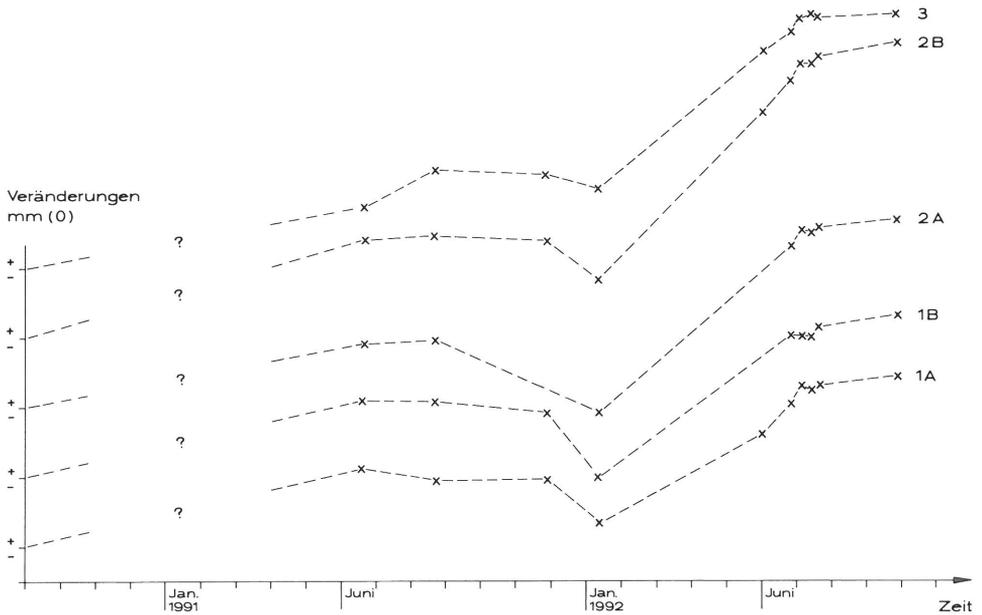


Abb. 10: Graph der mit dem Innenmeßgerät ermittelten Werte.

Es wurde entschieden, den Block durch Felsnägel (s. unten) an den standfesten Fels anzuheften. Hierzu waren 4 horizontale und eine vertikale, weitgehend erschütterungsfreie Bohrungen erforderlich. Die vorhandenen Bewegungsfugen wurden zunächst von Steinen und Sand befreit und anschließend mit Zementsuspension verfüllt. Der an der Außenseite des Felsblocks vorhandene Baum mußte entfernt werden, da von seinem in die Spalten reichenden Wurzelwerk zerstörende Wirkung auf das Verpreßgut hätte ausgehen können.

5.2. Durchführung der Sicherungsmaßnahmen

Die zur Verhinderung des kurzfristigen Absturzes der Felspartie angebrachten Stahlseile dienten während der Sicherungsarbeiten der Erzielung einer vertretbaren Arbeitssicherheit für das Personal der ausführenden Firma. In einem ersten Arbeitsschritt wurden die offenen horizontalen Fugen mit einer pastösen Zementschlämme drucklos verfüllt; hierzu war eine vorausgehende Abdichtung der Fugenränder notwendig, um einer Verschmutzung der Felswand durch auslaufendes Injektionsgut vorzubeugen. Hierbei bewährte sich handelsüblicher PU-Schaum, der sich nach Abschluß der Maßnahme problemlos und rückstandslos entfernen ließ.

Nachfolgend wurde die vertikale Kluft (Abb. 5 und 6) abschnittsweise von Hand mit Druckluftunterstützung von Sand und Steinen befreit und ebenfalls mit Zementmörtel verfüllt. Insgesamt wurden 2,1 t Injektionsgut verbraucht, das sackweise über schmale Wege und Treppen getragen und vor Ort gemischt wurde. Die Sichtflächen des Injektionsgutes wurden rötlich eingefärbt und damit der Felsoberfläche optisch angenähert.

Die Durchführung der Bohrungen für die Felsnägel stieß zunächst auf Schwierigkeiten, weil eine vorgesehene erschütterungsarme Kernbohrmaschine auf dem vorhandenen Gerüst wegen dessen auskragender Bauweise und dementsprechend geringer Belastungsfähigkeit nicht plaziert werden konnte. Es wurde deshalb entschieden, das Risiko stärkerer Erschütterungen einzugehen und eine leichte Bohreinrichtung (SIG-Bohrgerät ohne Schlagwerk) zu verwenden. Es kamen 4 schwach bergseits geneigte Bohrlöcher von 1,5 bis 4 m Länge und eine vertikale Bohrung von 3,5 m Länge mit einem Durchmesser von 68 mm zur Ausführung (Abb. 5). Die Nagellöcher wurden vom Bohrende her mit Zementmörtel verfüllt und anschließend Felsnägel aus GEWI-Vollstäben mit Durchmesser 28 mm (500/500 IVS verzinkt) eingebracht. Die Ankerplatten wurden mit Muttern von Hand festgelegt und mit einem Korrosionsschutzanstrich versehen. Nach einer Wartezeit von ca. 1 Woche wurde die vorübergehend angebrachte Seilsicherung entfernt.

Schriften

- BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES (1989): Carte géologique de la France 1:50000, Blatt 168 Lembach. Bearb.: F. MÉNILLET et al., Orléans.
- DACHROTH, W. (1988): Genese des linksrheinischen Buntsandsteins und Beziehungen zwischen Ablagerungsbedingungen und Stratigraphie. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 70, S. 267-333, 17 Abb., 10 Taf., Stuttgart.
- ECKARDT, A. & KUBACH, H. E. (1957): Die Kunstdenkmäler von Rheinland-Pfalz, Band 2: Die Kunstdenkmäler der Stadt und des Landkreises Pirmasens. – München.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (1991): Gutachten über die Standsicherheit des Aufsatzfelsens der Burgruine Drachenfels, Gemarkung Busenberg. – Az: 32/790/90, 6 S., 6 Anlagen, Archiv Geol. Landesamt, Mainz. – [unveröff.].
- GRESCH, H. M. (1988): Variationen und gegenseitige Abhängigkeiten von geotechnischen Gesteinskennwerten an ausgewählten Proben des Buntsandsteins der Pfalz. – Diplomarbeit Univ. Mainz, 118 S., 41 Abb., Mainz. – [unveröff.].

- HÄBERLE, D. (1913): Der Pfälzerwald. Ein Beitrag zur Landeskunde der Rheinpfalz. – Die Rheinlande in naturwissenschaftlichen und geographischen Einzeldarstellungen, **3**, 91 S., 50 Abb. (Westermann), Braunschweig, Berlin.
- HÄFNER, F. & BÖHLER, W. (1987): Der Teufelstisch bei Hinterweidenthal. Ein Beitrag zu seiner Geologie, Morphologie, Verwitterung und Standsicherheit. – Mainzer geowiss. Mitt., **16**, S. 67-90, 21 Abb., Mainz.
- SCHALAMZARI-ESKANDARI, B. (1987): Verwitterungsresistenz des Buntsandsteins im Raum Kaiserslautern-Pirmasens. – Diplom-Arbeit Univ. Mainz, 124 S., Mainz. – [unveröff.].
- WENZ, M. (1989): Der Drachenfels und die Felsenburgen der Nordvogesen. – 2 Bde. (Text + Katalog), 410 + 203 S., Diss. Univ. Heidelberg, Heidelberg.

Anschrift der Autoren: Dr. FRIEDRICH HÄFNER, Diplom-Geologe UWE SCHROEDER,
Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Emmeransstraße 36, D-55116 Mainz.

Manuskript eingegangen am 19. 11. 1992