

Petrographische Untersuchungen an Sandsteinen des Freiburger Münsters

von

Lothar Trautmann, Freiburg i. Br.
mit 10 Abbildungen und 2 Tabellen

Untersuchungen an Steinen eines bestehenden Bauwerkes sind nicht nur Selbstzweck, sondern sie sollen auch eine Hilfe sein für die, die an seiner Erhaltung arbeiten. Der Petrograph muß sich deshalb während seiner Arbeit und bei der Darstellung seiner Ergebnisse einer Sprache bedienen, die von allen Beteiligten verstanden wird.

Das Ziel der Untersuchungen an Sandsteinen des Münsters ist, zu prüfen, ob zwischen den verschiedenen Schadensbildern, den verschiedenen Verwitterungsabläufen und dem unterschiedlich starken Grad der Verwitterung einerseits und den petrographischen Eigenschaften im weiteren Sinne andererseits ein Zusammenhang zu erkennen ist. Am Münster ist aber nur Buntsandstein in seinen verschiedenen Ausbildungen verarbeitet. Es ist deshalb verständlich, daß mineralogische Methoden allein nicht für die Klärung der gestellten Frage ausreichen.

Zunächst wurden die einzelnen Gesteinstypen, die die Bauleute mit Lokalnamen bezeichnen, nach äußerlichen Merkmalen am Bau charakterisiert und gleichzeitig die Verwitterungsschäden statistisch erfaßt. Dafür wurde an den jeweils eingerüsteten Teilen jeder einzelne Stein nach Gesteinstyp und Schadensbild klassifiziert. Die wichtigsten der makroskopischen petrographischen Merkmale, die sich als brauchbar erwiesen, sind:

- a) Allgemeine Eigenschaften:
1. Farbbezeichnung nach der Rock-Color Chart
 2. Maximale Korngröße
 3. Häufigste Korngröße
 4. Anteil an Unterkorn

Anschrift des Verfassers:

LOTHAR TRAUTMANN, Hebelstr. 40, 7800 Freiburg i. Br., Mineralogisches Institut der Universität.

b) Schichtungsmerkmale:

5. Korngrößenunterschiede zwischen den verschiedenen Schichten
6. Verschiedener Gehalt an Unterkorn
7. Einzelne papierdünne Lagen mit sehr hohem Gehalt an Unterkorn
8. Farbunterschiede zwischen den Schichten
9. Scharfe oder unscharfe Grenze zwischen den einzelnen Schichten
10. Schichtdicke

Tab. 1 a: Makroskopische, petrographische Gliederung der wichtigsten Sandsteintypen am Freiburger Münster.

	A	B	C	D	E	F
Petrographische Bezeichnung	kieseliger arkosiger Sandstein	kieseliger schwach arkosiger Sandstein	toniger stark glimmerh. brauntupfel. Sandstein	toniger glimmerh. brauntupfel. Sandstein	toniger glimmerh. rottupfel. Sandstein	kieselig-glimmerh. Sandstein
Farbe	violettstich. graurosa	bläßrot	bläßrot	violettstich. graurot	violettstich. graurot	fahl-orange rot
Farb-Bezeichng. n. "Rock Color Chart"	5 R 7/2	5 R 5/4	5 R 6/4	5 R 5/2	5 R 5/2	10 R 6/2
maximale Korngröße	1 mm	0,5 mm	0,4 mm (Gli 1 mm)	0,4 mm (Gli 0,5 mm)	0,3 mm (Gli 0,5 mm)	0,5 mm (Gli 0,6 mm)
häufigste Korngröße	0,6-0,8 mm	0,3-0,4 mm	0,2-0,3 mm	0,2-0,3 mm	0,15-0,25 mm	0,2-0,4 mm
Anteil an Unterkorn	wenig	wenig	viel	viel	viel	wenig
Korngrößenunterschiede zw. verschiedenen Schichten						
Versch. Gehalt an Unterkorn						
einz. papierdünne Lagen m. sehr hohem Gehalt an Unterkorn						
deutliche Farbunterschiede zu erkennen						
keine Schichtung zu erkennen						
Schichtdicke	10 cm	10 cm	wenige cm	wenige cm	wenige cm	nicht zu erkennen
	Quarz Feldspat, getrübt	Quarz Feldspat frisch u. getrübt, Glimmer	Quarz Feldspat, teils trüb, teils frisch, Glimmer	Quarz Feldspat Glimmer	Quarz Feldspat Glimmer	Quarz Feldspat Glimmer
Besonderheiten der Min.-Verteilg.	keine Besonderheiten					
	Glimmer eingeregelt	schwach				
	Glimmer in Lagen angereichert		deutlich			
	Bindemittel	kieselig	kieselig	tonig-eisen-oxydisch	tonig-eisen-oxydisch	tonig-eisen-oxydisch

SANDSTEINE DES FREIBURGER MÜNSTERS

97

c) Besonderheiten der Mineralverteilung:

11. Glimmer eingeregelt 13. Mineralbestand
 12. Glimmer in Lagen angereichert 14. Bindemittel

Mit Hilfe dieser makroskopisch feststellbaren Eigenschaften lassen sich die Bausteine 12 Gesteinstypen zuordnen, die in Tabelle 1 a und 1 b zusammengefaßt sind:

Tab. 1 b: Makroskopische, petrographische Gliederung der wichtigsten Sandteintypen am Freiburger Münster.

	G	H	J	K	L	M
Petrographische Bezeichnung	toniger glimmerh. Sandstein	toniger glimmerh. feinschicht. Sandstein	kieseliger feinkörniger roter Sandstein	kies.eisen-oxydischer glimmerh. Sandstein	kieseliger glimmerh. Sandstein	feinkörniger grauroter Sandstein
	violettstich. graurot	violettstich. graurot	schwach violettstich. graurot	rot m.hellbraunen Tupfen	gelblich-rot	hellgelblich grau/rot
Farb-Bezeichng. n. "Rock Color Chart"	5 R 5/2	5 R 5/2	5 R 5/3	5 R 5/6 5YR 5/6	10 R 5/6	5 YR 8/2 5 R 5/6
maximale Korngröße	0,2 mm (Gli 0,5 mm)	0,2 mm (Gli 0,5 mm)	0,2 mm	0,3 mm	0,3 mm (Gli 0,5 mm)	0,2 mm
häufigste Korngröße	0,1-0,2 mm	0,1-0,2 mm	0,05-0,15 mm	0,1-0,2 mm	0,1-0,2 mm	0,05-0,1 mm
Anteil an Unterkorn	viel	sehr viel	wenig	wenig	wenig	wenig
Korngrößenunterschiede zw. verschiedenen Schichten						
Versch. Gehalt an Unterkorn		sehr stark				
einz. papierdünne Lagen m. sehr hohem Gehalt an Unterkorn						
deutliche Farbunterschiede zu erkennen						
keine Schichtung zu erkennen						
Schichtdicke	wenige cm bis dm	wenige mm bis cm	nicht zu erkennen	nicht zu erkennen	10 cm	nicht zu erkennen
	Quarz Feldspat Glimmer	Quarz Feldspat Glimmer	Quarz wenig Glimmer	Quarz Feldspat Glimmer	Quarz Feldspat Glimmer	Quarz
Besonderheiten der Min.-Verteilg.	keine Besonderheiten					
	Glimmer eingeregelt					
	Glimmer in Lagen angereichert					
	tonig	tonig	kieselig	kieselig und eisenoxyd.	kies.ves.er in kies.eisen-oxyd. Umgebung	

Nach dem mikroskopischen Befund an Gesteinsdünnschliffen kann man die 12 makroskopisch unterscheidbaren Gesteinstypen in 4 Gruppen zusammenfassen:

1. Die Körner zeigen eine reine Quarz-Feldspat-Bindung. Quarze und Feldspäte sind weitergewachsen, die weitergewachsenen Zonen sind sehr stark verzahnt.
2. In einem Netz von Körnern mit Quarz-Feldspat-Bindung liegen Inseln von Körnern mit tonig-ferritischem Bindemittel (Abb. 1 und 3).
3. Nester von 5 bis 15 Körnern mit Quarz-Feldspat-Bindung liegen in einer Umgebung mit tonig-ferritischem Bindemittel (Abb. 2).
 - a) Wie 3., aber mit Resten von Karbonatpseudomorphosen.
 - b) Wie 3., aber mit Nestern von Karbonatimprägnationen, die nicht von Pseudomorphosen herrühren.
4. Serizit als Bindemittel. Hier sind gut gerundete Quarze mit nur sehr geringen Anwachs säumen vorhanden, auf den Quarzkörnern ist Serizit orientiert aufgewachsen, und zwar meist senkrecht zur Quarzoberfläche, manchmal sind auch Serizitschüppchen parallel zur Quarzoberfläche angelagert.

Die Schadensbilder wurden nach einer besonderen Einteilung und Nomenklatur, die einen Kompromiß zwischen den verschiedenen in der Literatur angegebenen und den von der Freiburger Bauhütte benutzten Bezeichnungen darstellt, gegliedert:

1. Vollständiges Aufblättern (Abb. 4 und 5).
2. Risse parallel zur Schicht (Abb. 4 und 6).
3. Risse senkrecht zur Schicht (Abb. 6).
4. Abplatzen von dicken Schalen (Abb. 7).
5. Dübelsprengung ohne Rosteinwirkung.
6. Feste Kruste (Abb. 8).
7. Weiche Schicht (Abb. 8).
8. Blasen.
9. Sinter und Zäpfchen (Abb. 9).
10. Abblättern (Abb. 10).
11. Starkes Absanden, z. T. in Gruben (Abb. 6).
12. Schwaches Absanden.
13. Auswaschung feiner Teilchen.

Diese Schadensbilder treten nicht gleichmäßig über das ganze Bauwerk verteilt auf, sondern man kann drei Bereiche erkennen.

Der erste Bereich erstreckt sich vom Erdboden bis maximal 2 m Höhe. Die hervorstechendsten Erscheinungen sind hier das schwache Absanden und das Absanden in Gruben, gebunden an die Bereiche der aufsteigenden

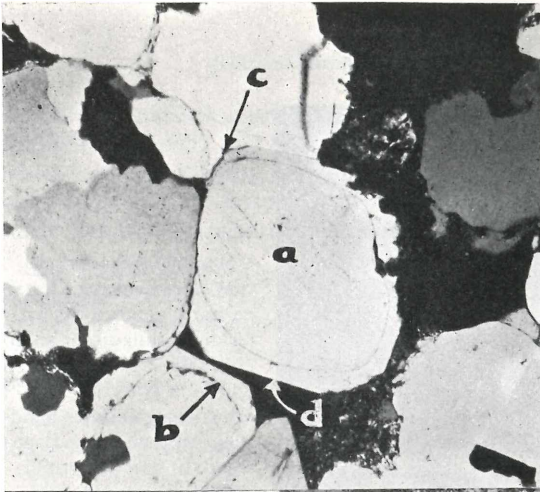


Abb. 1—3: Mikroskopische Aufnahmen von drei Sandsteinen mit verschiedenen Bindemitteln (natürliche Größe der Bildausschnitte jeweils 1,12 x 1,25 mm).

Abb. 1

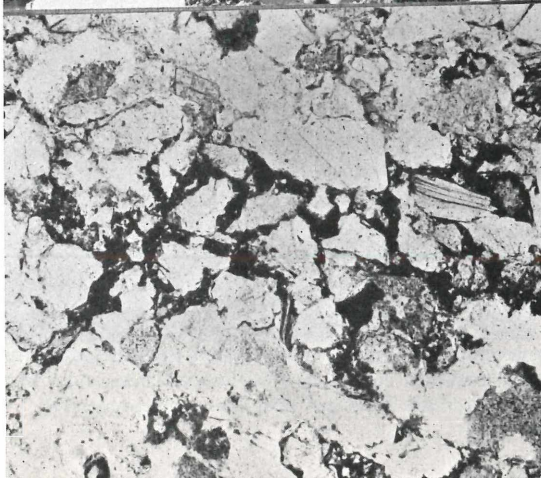
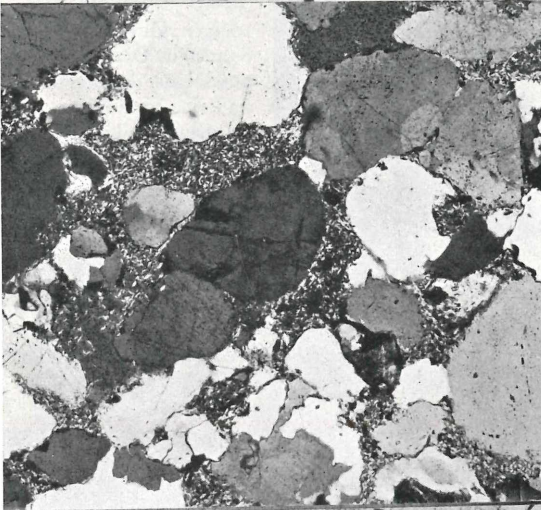
Partie aus einem Sandstein der Gruppe 2. Die Quarkörner (a), deren ursprünglich abgerundete Form gut zu erkennen ist (b), sind weitergewachsen. Bei vollständiger Ausfüllung der Zwickel kommt es zur Verzahnung (c), bei unvollständiger Ausfüllung bilden sich ebene Kristallflächen (d), wobei in den Restzwickeln Aggregate von Tonmineralien enthalten sind.

Abb. 2:

Sandstein mit tonigem Bindemittel. Die Zwickel zwischen den Sandkörnern sind mit feinkörnigen Tonmineralien und Glimmern ausgefüllt.

Abb. 3:

Sandstein mit unregelmäßig verteiltem eisenhaltigem Bindemittel. Die Sandkörner sind in ein z.T. stark eisenoxidhaltiges Bindemittel eingebettet.



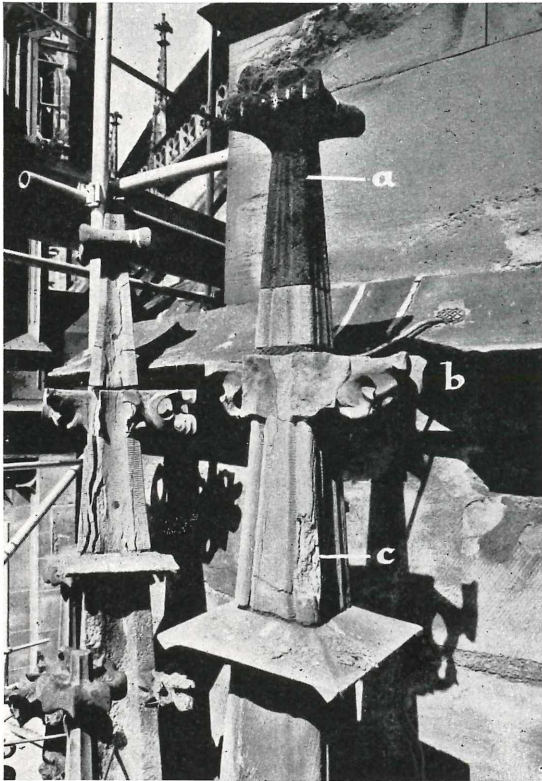


Abb. 4:
Unterschiedliche Erhaltung verschiedener Gesteine unter gleichen Verwitterungsbedingungen an einer Fiale. Der Knauf (a) wurde in gotischer Zeit aus einem gelblichen Sandstein hergestellt, das Laubwerk (b) dagegen vor etwa 40 Jahren aus einem tonigen, glimmerhaltigen Sandstein. Der Knauf zeigt außer einer dunklen Patina keine Veränderungen. Die übrigen Teile sind bereits entlang der Schichtung des Gesteins aufgespalten oder bereits abgefallen oder vollständig abgeblättert (c). Unterteil von Chorstrebpfeiler V, Kreuzblume 2, Südostseite.



Abb. 5:
Vollständiges Zerbröckeln an der Kante einer Fiale. Das Gestein zerfällt parallel zu seiner natürlichen Schichtung zu Bröckchen von $\frac{1}{2}$ bis 1 Millimeter Dicke und 5 Millimeter Länge. Vergrößerung 1,5fach. Fiale auf dem Chorstrebpfeiler III.

Grundfeuchte beziehungsweise dem sich darüber anschließenden Bereich der Wechselfeuchtigkeit und den Bereichen des am Bau herabfließenden Regenwassers. Die Bildung von Sintern und Zäpfchen, einer weichen Schicht unter einer harten Kruste und das Ablättern treten in diesem Bereich hinter den beiden zuerstgenannten Schadensbildern zurück.

Der zweite Bereich erstreckt sich von der Chorplattform über die Hochchorgalerie bis zum Turmoktogon. Hier tritt eine Vielzahl von Schadensbildern auf: vollständiges Aufblättern, Risse parallel und senkrecht zur Schicht, feste Kruste über einer weichen Schicht, Blasen, Sinter und Zäpfchen sowie Absanden.

Der dritte Bereich ist der Turmhelm. Dort überwiegt das Abplatzen von dicken Schalen alle anderen Verwitterungserscheinungen.

Der Darstellung der Beziehungen zwischen Petrographie und Verwitterungsanfälligkeit dient ein Bewertungsschema für die einzelnen Gesteinstypen. Die Bewertung berücksichtigt die Häufigkeit des Schadensbildes und den Grad der Gefährlichkeit der Schäden. Für Schäden, die an allen vor-

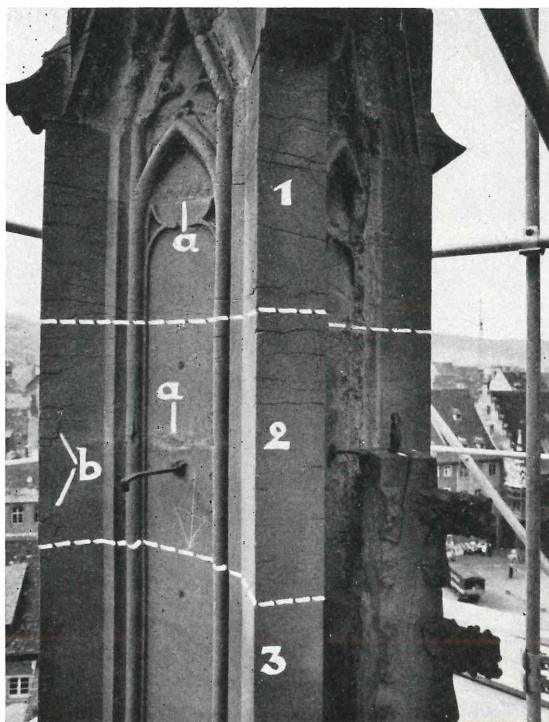


Abb. 6:
Deutliche Risse parallel zur Schichtung in den beiden oberen Quadern (1 und 2) einer Fiale. Der untere Quader (3) ist frei von Verwitterungsschäden. Die Fugen zwischen den Quadern sind durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. Starkes Absanden einzelner Schichten bei (a). Bildung von Rissen senkrecht zur Schichtung (b) in der Nähe der Kante.
Oberteil von Chorstrebepeiler V links. Nordostseite rechts. Nordwestseite.

handenen Stücken eines Gesteinstyps auftreten, werden 2 Häufigkeitspunkte vergeben, für Schäden, die nur an wenigen Stücken auftreten, 1 Häufigkeitspunkt und für keine Schäden 0 Punkte. Bei der Gefährlichkeit der Schäden wird unterschieden zwischen den technisch-konstruktiv gefährlichen Schadensbildern 1 bis 5 mit dem Gefährlichkeitsgrad 4, den konstruktiv harm-

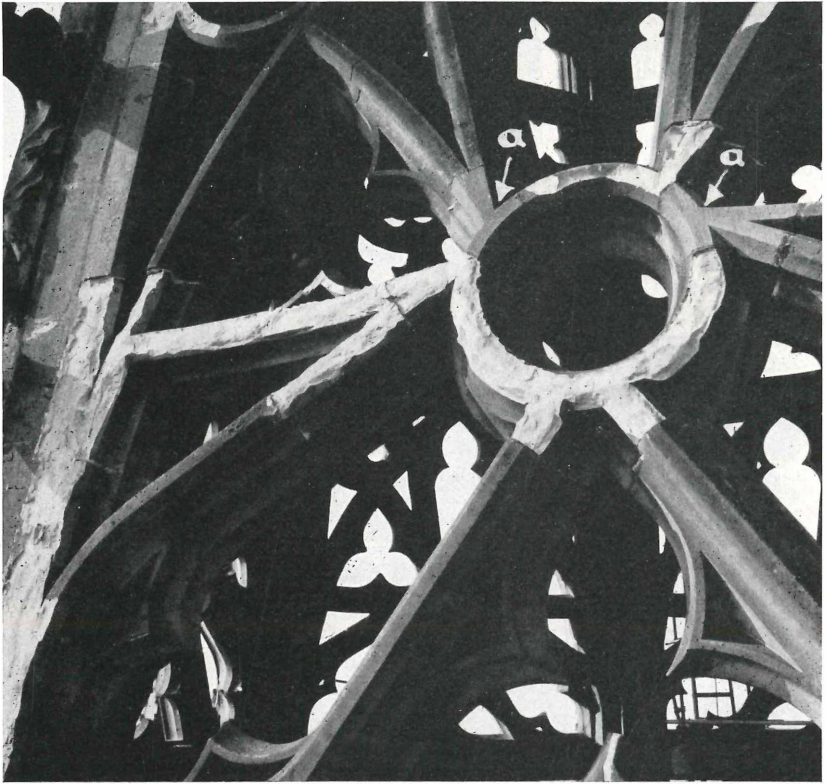


Abb. 7:

Abplatzen von Schalen. An der Außen- und Innenseite eines Maßwerkes bilden sich zunächst feine Risse, die nach einiger Zeit zum Abplatzen von Schalen führen. Darunter kommt relativ frisches Gestein zum Vorschein. Auch hier zeigt sich die unterschiedliche Verwitterungsresistenz der Sandsteine: Einige Maßwerke (in der unteren Hälfte des Bildes) haben sich durch sechs Jahrhunderte unverändert erhalten, während andere (Bildmitte), unmittelbar angrenzend, auf ihrer ganzen Oberfläche Schalenbildung zeigen. Die beiden mit a gekennzeichneten Vierungen wurden in diesem Jahrhundert eingesetzt.

Ostseite der Turmpyramide, zweites Feld von unten.

losen aber die künstlerische Wirkung beeinträchtigenden Schäden 6 bis 11 mit dem Gefährlichkeitsgrad 2 und den harmlosen Verwitterungsbildern 12 und 13 mit dem Gefährlichkeitsgrad 1. Durch die Addition der für die einzelnen Schadensbilder innerhalb eines Gesteinstyps vergebenen Häufigkeitspunkte erhält man eine „Einfache Punktbewertung“. Multipliziert man die einzelnen Häufigkeitspunkte mit dem Gefährlichkeitsgrad des jeweiligen Schadensbildes und addiert diese Produkte, so erhält man eine „gewichtete Bewertungsziffer“ für jeden Gesteinstyp. Die gewichteten Bewertungsziffern für die am Freiburger Münster benutzten Buntsandsteintypen liegen zwischen 2 und 60. Zwei Gruppen lassen sich deutlich unterscheiden: Gute Werksteine mit einer Bewertungsziffer niedriger als 10 und schlechte Werksteine mit einer Bewertungsziffer höher als 20.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Bewertungsziffern der Gesteinstypen A bis M.

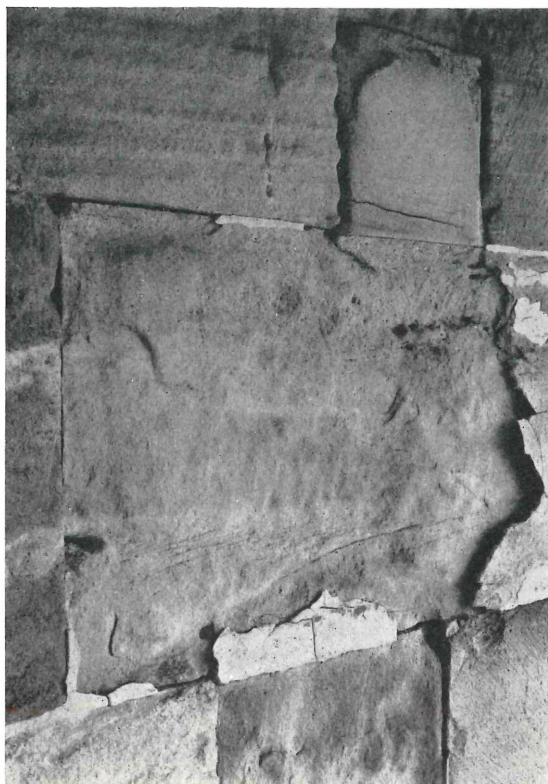


Abb. 8:
Feste Kruste von wenigen Millimetern Dicke über einer aus Gesteinsresten und Verwitterungsneubildungen bestehenden weichen Schicht. Der zutage tretende Kern des Gesteins sandet stark ab. Blick auf die Westseite von Strebepfeiler I am südlichen Seitenschiff.

Tab. 2: Gewichtete Bewertungsziffern der Gesteinstypen A bis M.

Gesteinstyp	Verwitterungserscheinungen											Gewichtete Bewertungsziffer			
	Vollständiges Aufblättern	Risse // zur Schicht	Risse ⊥ zur Schicht	Abplatzen von Schalen	Dübelsprengung	feste Kruste	weiche Schicht	Blasen	Zäpfchen und Sinter	Abblättern	starkes Absanden		schwaches Absanden	Auswaschung	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	o	o	-	x	o		7
B	-	-	-	-	-	o	-	-	o	o	o	x	o		9
C	o	x	o	o	o	x	x	x	x	x	o	x	-		48
D	x	x	x	x	o	x	x	x	x	x	o	x	-		60
E	x	x	x	x	o	o	x	x	x	o	o	x	-		58
F	-	o	o	-	-	-	-	-	-	o	o	x	-		12
G	-	x	o	o	-	-	-	-	x	o	o	x	-		24
H	x	x	x	o	-	o	o	o	o	x	o	x	-		44
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	o		2
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	o		7
L	-	-	-	-	-	-	-	-	x	o	-	x	-		8
M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-		2

Bedeutung der Signaturen:

x an fast allen Stücken

o nur an wenigen Stücken

- tritt nicht auf

Die weiteren Untersuchungen 1. Absanden unter Ultraschall, 2. Einwirkung von Schwefeldioxyd auf frische und alte Steine, 3. Porositätsmessungen, 4. Messungen der Permeabilität und der Permeabilitätsanisotropie, dienen der besseren Charakterisierung der einzelnen Gesteinstypen. Erfolg brachten vor allem die Messungen der Permeabilität und der Permeabilitätsanisotropie. Diese Messungen wurden mit einem mit Druckluft arbeitenden Gerät durchgeführt. Um auch die Anisotropie auf möglichst kleinem Raum messen zu können, wurde ein besonderer Probehälter konstruiert, der die Verwen-

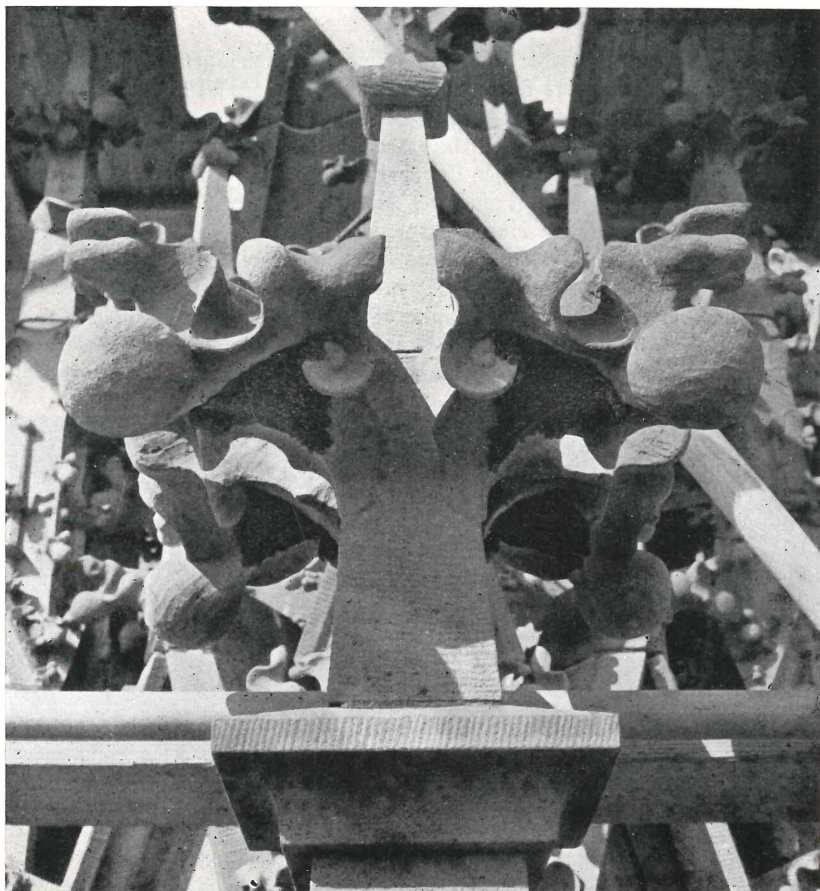


Abb. 9

Sinterbildungen unter dem Laubwerk einer Kreuzblume am Strebepfeiler 4 des südlichen Seitenschiffes.

derung von würfelförmigen Proben zuläßt. Damit können Permeabilitäten in drei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen gemessen werden. Die Gesteinswürfel wurden immer so gesägt, daß eine Meßrichtung senkrecht zur Schichtfläche lag und die beiden anderen in der Schichtfläche.

Setzt man die gemessenen Permeabilitäten mit den empirisch gewonnenen Bewertungsziffern in Beziehung, so ergeben sich einige interessante Erkenntnisse. Innerhalb einer Gruppe von petrographisch annähernd gleichen Gesteinstypen haben diejenigen mit niedriger Permeabilität auch eine niedrigere, also bessere Bewertungsziffer, Steine mit hoher Permeabilität auch eine hohe Bewertungsziffer.

Bei Gesteinen mit gleicher Permeabilität haben diejenigen, die keine Anisotropie zeigen, die bessere Bewertungsziffer. Allerdings ist zu beachten, daß bei den in Freiburg benutzten Sandsteinen die Porosität in relativ geringen Grenzen schwankt. In der ersten und vierten Gruppe der mikroskopischen Einteilung reichen die gemessenen Permeabilitätswerte von 1 md (Millidarcy) mit einer Anisotropie von 1:1 und der Bewertungsziffer 7 bis zu einer Permeabilität von 100 md mit einer Anisotropie von 1:1 und der Bewertungsziffer 12. In der Gruppe 3 der mikroskopischen Einteilung, den tonig-ferritisch gebundenen Sandsteinen, ist der niedrigste gemessene Permeabilitätswert 10 md bei einer Bewertungsziffer 48 und der höchste Permeabilitätswert ebenfalls 100 md bei einer Bewertungsziffer 60. Bei den Gesteinen dieser letzten Gruppe ist immer, auch wenn sie äußerlich keine Schichtung

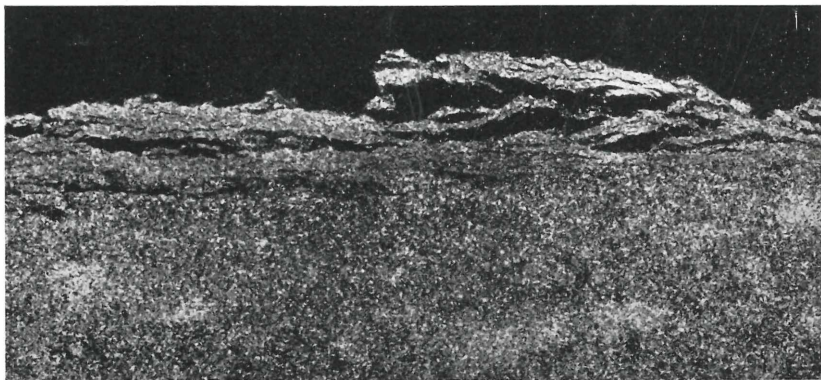


Abb. 10:

Abblättern an einer Fiale. Das Gestein löst sich parallel zur Oberfläche ab. Die schwarzen Partien sind durch Verwitterung entstandene Hohlräume, welche vor Abnahme des Stückes mit Kunstharz ausgefüllt wurden. Der Quader wurde zur Sichtbarmachung der Verwitterungserscheinungen senkrecht zur Oberfläche zersägt.

Vergrößerung: 1,5fach.

Fiale auf dem Chorstrebepeifer III.

erkennen lassen, eine deutliche Permeabilitätsanisotropie vorhanden. Sie erreicht Werte bis 1:4.

Die bisherigen Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß Art und Häufigkeit der Schadensbilder der Verwitterung sowohl von der Exposition am Bauwerk als auch von den petrographischen Eigenschaften des benutzten Baumaterials abhängen.

Literatur

- BRAITSCH, O., & TRAUTMANN, L.: Die Bausteine und Verwitterungsschäden am Freiburger Münster. — 75 Jahre Münsterpflege. Freiburger Münsterbauverein 1890 bis 1965. Herausgegeben von Paul Bootz; S. 89—104; Freiburg 1965.
- KIESLINGER, A.: Zerstörungen an Steinbauten. VIII + 346 S., 291 Abb., 13 Tab., Leipzig und Wien (Franz Deuticke) 1932.
- QUERVAIN, F. DE: Verhalten der Bausteine gegen Verwitterungseinflüsse in der Schweiz I. — Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Reihe 23, 56 S., 82 Abb., Bern 1945.
- QUERVAIN, F. DE, & JENNY, V.: Verhalten der Bausteine gegen Verwitterungseinflüsse in der Schweiz II. — Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Reihe, 30/178, 66 S., 57 Abb., 41 Abb., Bern 1951.
- QUERVAIN, F. DE, & MOOS, A. VON: Technische Gesteinskunde. Mineralogisch Geotechnische Reihe, 1, 261 S., 124 Abb., 55 Tab., Basel und Stuttgart (Birkhäuser 1962).

Manuskript eingegangen: 27. Juli 1976.

Alle Klischees wurden freundlicherweise vom Münsterbauverein Freiburg i. Br. zur Verfügung gestellt. Für ihre Überlassung danke ich herzlich.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: [66](#)

Autor(en)/Author(s): Trautmann Lothar

Artikel/Article: [Petrographische Untersuchungen an Sandsteinen des Freiburger Münsters 95-107](#)