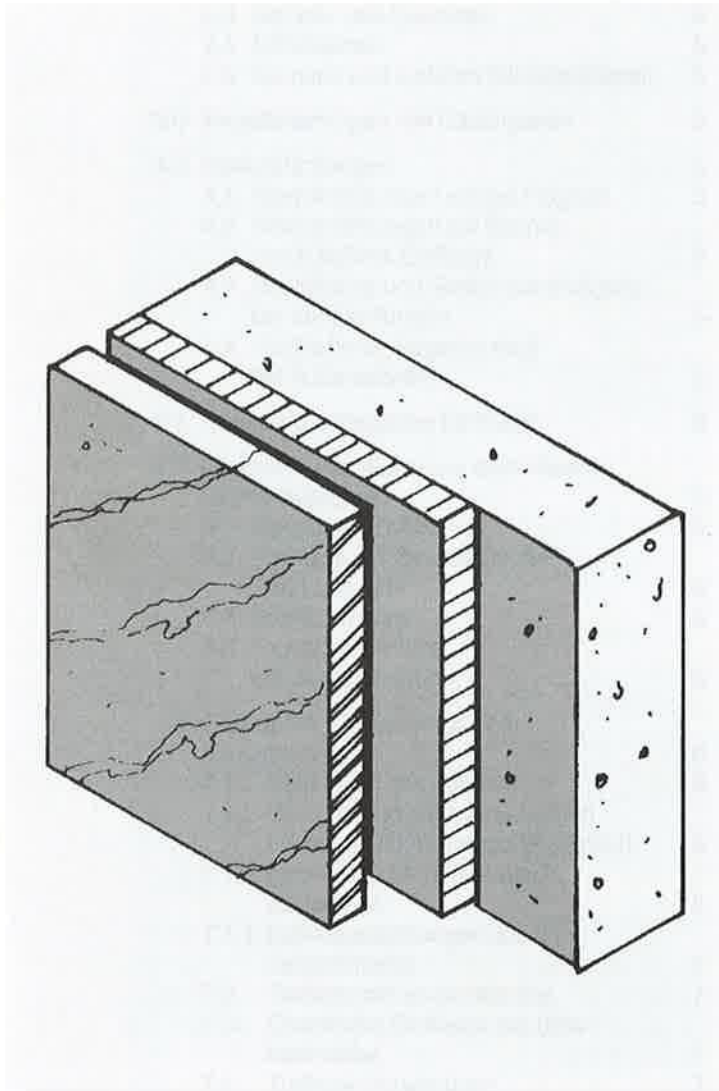


Bautechnische Information Naturwerkstein

Bauchemische
und bauphysika-
lische Einflüsse
Außenarbeiten



Das Zeichen
der Fachbetriebe,
ein Zeichen
für Qualität

Inhalt

I. Bauchemische Einflüsse Außenarchitektur

1.1	Luftverschmutzung und Angriffsmedien	4
1.2	Säureeinfluß	4
1.3	Krustenbildung	4
2.0	Langzeiteinflüsse der Aggressilien auf die verschiedenen Gesteine bei	4
2.1	kristallinen Marmoren	4
2.2	Kalksteinen	4
2.3	Schiefer und Quarziten	4
2.4	Sandsteinen	5
2.5	Graniten und anderen Silicatgesteinen	5
3.0	Angriffsvermögen von Rauchgasen	5
4.0	Rostverfärbungen	5
4.1	Rostverfärbungen infolge Flugrost	5
4.2	Rostverfärbungen auf Steinen durch äußere Einflüsse	5
4.3	Rostbildung und Gesteinsschädigung bei Verdübelungen	5
4.4	Rostfarbener Fugenausfluß bei Außenarbeiten	5
5.0	Chemisch-biologische Einflüsse	6
6.0	Chemische Einflüsse aus dem Versetz- und Verlegegrund	6
6.1	Ziegelmauerwerk	6
6.2	Einflüsse der Zuschlagstoffe Sand und Kies	6
6.3	Anmachwasser	6
6.4	Tausalzeinwirkung auf den Untergrund	6
7.0	Chemische Einflüsse aus dem Verlegemörtel	6
7.1.1	Verdursten des Zements	6
7.1.2	Veränderung der hydraulischen Erhärtung durch Temperatureinfluß	6
7.1.3	Einwirkung des Bindemittels auf Metalle	6
7.1.4	Kalkauswaschungen aus dem Zementmörtel	7
7.2	Traßzement als Bindemittel	7
7.3	Chemische Einflüsse aus dem Kalkmörtel	7
7.4	Traßkalk-Verwendung	7
7.5	Hydraulischer und hochhydraulischer Kalkmörtel und andere Bindemittel	7
8.0	Einfluß von Säure bei der Gesteinsreinigung	7

Inhalt

II. Bauphysikalische Einflüsse Außenarchitektur

9.0	Frostwiderstand und Festigkeit	8
9.1	Frosteinwirkung und Verwitterungsbeständigkeit	8
9.1.1	Porosität der Naturwerksteine nach DIN 52 102	8
9.1.2	Kapillarität	8
9.2	Wasseraufnahme nach DIN 52 103	8
9.3	Der Sättigungswert als Ausdruck der Verwitterungsbeständigkeit	9
9.4	Frost-Tau-Wechsel-Versuch nach DIN 52 104	10
9.5	Der Druckversuch nach DIN 52 105	10
9.6	Verschleißprüfung nach DIN 52 108	11
9.7	Biegeversuch von Naturstein nach DIN 52 112	12
9.8	Ausbruchlast am Ankerdornloch	14
10.0	Temperatureinflüsse und Elastizitätsmodul	15
10.1	Thermische Dehnung	15
10.2	Wärmeaufnahme infolge Sonneneinstrahlung	16
10.3	Einfluß des Farbtons der Gesteine	16
10.4	Einfluß auf Naturwerkstein-Fassadenbekleidungen	16
10.5	Einfluß auf Terrassenbeläge	18
10.6	Wärmeleitfähigkeit der Naturwerksteine	18
10.7	Elastizitätsmodul	18
11.0	Quellen und Schwinden der Naturwerksteine	19
12.0	Wasserdampfdiffusion und die Naturwerksteine	19

I. Bauchemische Einflüsse Außenarchitektur

Einleitung

Es geht in dieser Bautechnischen Information vorwiegend darum, die Erfahrungen aus Forschung und Praxis in konzentrierter Form dem Architekten darzubieten, da er in zunehmendem Maße mit diesen Fragen konfrontiert wird. Auch die Naturwerkstein-Fachbetriebe sehen mit der Entwicklung der Bautenschutztechnik ein neues Aufgabengebiet auf sich zukommen und stellen sich darauf ein, diesen Tätigkeitsbereich mit speziellem Können auszufüllen.

Je mehr der planende Architekt und der ausführende Fachbetrieb in der Beurteilung der vorliegenden Situation am Objekt übereinstimmen, um so reibungsloser kann in Partnerschaft die Aufgabe gelöst werden.

Der überwiegende Teil der profanen und sakralen Baudenkmäler wurde mit Naturwerkstein errichtet, der nachweislich über Jahrhunderte seine Qualität und sein gutes Aussehen bewiesen hat.

Nach den Erkenntnissen der Denkmalpfleger und Restauratoren sind seit Beginn dieses Jahrhunderts die meisten Naturwerksteine, soweit diese freier Bewitterung unterliegen, einem verstärkten Verfall preisgegeben.

In den letzten 70 Jahren soll an den steineren Kunstdenkmälern mehr verwittert sein als in 700 Jahren zuvor.

In der modernen Steinbautechnik werden alle diese Erfahrungen berücksichtigt. Mit der Plattenbauweise und neuartigen Baukonstruktionen sind wiederum andere Anforderungen in den Vordergrund gerückt, die jedoch ebenfalls auf der Basis bauphysikalisch-bauchemischer Grundlagenerfahrung von den Fachbetrieben gelöst werden.

Die nachfolgend aufgeführten Ursachen von Verwitterung und Beschädigungen an Naturwerksteinen können in der modernen Steinbautechnik nur dann vorliegen, wenn bauphysikalische und bauchemische Gesetzmäßigkeiten bei den Partnern am Bau nicht genügende Beachtung finden. Der Haupteinfluß geht dabei vom Wasser aus, das nach Möglichkeit vom Bauwerk fernzuhalten ist.

1.1 Luftverschmutzung und Angriffsmedien

Die Belastung der Atmosphäre stammt u. a. von Auspuffgasen, den Emissionen der Industrie sowie der öffentlichen und privaten Haushalte.

Überall dort, wo fossile Brennstoffe und Holz verbrannt werden, wird Schwefeldioxid (SO_2) ausgeschieden. Die Belastung ist nicht nur im Entstehungsbereich sondern infolge Schadstoffverfrachtung in der Atmosphäre auch auf dem Lande vorhanden.

Stickoxide (NO_x) entstehen bei hohen Verbrennungstemperaturen.

Kohlendioxid (CO_2) ist das Endprodukt der vollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen.

1.2 Säureeinfluß

Carbonatgesteine (Kalksteine und Dolomit sowie Marmore) werden durch das Einwirken von kohlendioxidhaltigen Wässern im Laufe von Jahrzehnten geringfügig angelöst.

Die aus den im Wasser gelösten Rauchgasen stammenden Säuren aus Schwefel- und Stickoxiden können die carbonathaltigen Gesteine viel stärker angreifen als die Kohlensäure.

Die Säuren können die Oberflächen von Carbonatgesteinen aufräumen.

1.3 Krustenbildung

Beim Verdunsten der die Gesteinstelle lösenden Feuchtigkeit verdichtet sich das Gefüge an den geschützten Stellen zu Sinterkrusten. Die Stoffanhäufung auf der Außenhaut des Gesteins geht zu Lasten des unmittelbar angrenzenden Gesteinsinneren, was die Auslaugung und Auflösung der Kornbindung zur Folge hat. Diese Krustenbildungen sind etwas anders als Schalenbildungen im Außenbereich des Gesteins. Sie sind auch nicht mit der lediglich außen haftenden „Patina“ zu vergleichen.

2.0 Langzeiteinflüsse der Aggressilien auf die verschiedenen Gesteine

2.1 Bei kristallinen Marmoren

Durch gesteinslösenden Angriff des Niederschlags und physikalische Einflüsse innerhalb vieler Jahrzehnte entsteht auf exponierten Teilen eine Aufrauhung und Ablösung von Kornteilen des Marmors. Aufrauhungen der sonst glatten Oberflächen begünstigen Ruß- und Staubablagerungen. Der Einsatz von kristallinem Marmor ist in unserem Klima mit einem Risiko behaftet.

2.2 Bei Kalksteinen

Nach Politurverlust aufgerauhte exponierte Flächen begünstigen an geschützten Stellen Ruß- und Staubablagerungen, Auslaugungen von tonreichen Partien und Ausbleichungen.

2.3 Bei Schiefer und Quarziten

Silicatische kristalline Schiefer und Quarzite sind sehr widerstandsfähig gegenüber chemischen Angriffen. Einige Sorten spalten bereits bei geringfügiger mechanischer Beanspruchung. Diese sind mehr für Bodenplatten und weniger für Fassadenplatten geeignet. In jedem Falle muß ein ausreichender Frostwiderstand vorhanden sein.

Schiefer mit kalkig-toniger Grundmasse unterliegen in den Jahrzehnten wie die Carbonatgesteine der Farbänderung durch Aufhellung.

2.4 Bei Sandsteinen

Die primäre Ursache der Sandsteinzerstörung sind die fehlende bzw. unzureichende Isolierung der Bauwerke gegen den Regen und Grundwasser, offene Fugen und schadhafte Abdeckung bei Gesimsen und Dachanschlüssen.

Absandungen treten allgemein bei Gesteinen mit schwacher Kornbindung auf. Die Verwitterungsbeständigkeit ist bei Vorhandensein eines Korngerüstes aus Quarzkörnern, die durch Zufuhr von Kieselsäure miteinander verwachsen sind, am größten. Die Mehrzahl der Sandsteine besitzt verschiedenartige Bindungen der Quarzkörner (Tonminerale, Eisenoxide und -hydroxide, Carbonate).

Feuchtigkeitswanderungen verbunden mit chemischem Angriff auf das Bindemittel führen zu Krustenbildungen und dahinter Zersandung infolge fehlender Kornbindungsfestigkeit.

Quell- und Schwindvorgänge bei Steinen mit tonigem Bindemittel verursachen Gefügelockerungen.

Ausblühende Mauersalze bewirken Kristallisationsdrücke einhergehend mit Gefügelockerung und Zersandung der Gesteinsaußenflächen.

2.5 Bei Graniten und anderen Silicatgesteinen

Im allgemeinen zeigen die Hartgesteine einen erhöhten Widerstand gegen Verwitterung.

Tritt eine solche dennoch zutage, dann ist wiederum als Hauptursache die fehlende Isolierung des Bauwerks gegen Feuchtigkeit zu sehen. Salzwanderungen können zu Verfärbungen und Oberflächenaufrauhungen führen.

3.0 Angriffsvermögen von Rauchgasen

Der Einfluß der Rauchgase auf den Naturwerkstein ist ohne Zweifel vorhanden. Er ist aber in seiner Stärke umstritten. Eine einheitliche Untersuchungsmethode zur Bestimmung von Rauchgaseinflüssen auf Naturwerksteine gibt es nicht.

Laborversuche liegen unter anderem von Dr. W. Fickel vor: Chemisches Angriffsvermögen von Rauchgasen auf Naturwerksteine. Gearbeitet wird mit Probekörpern in einem zunächst luftabgeschlossenen Gefäß mit einem Gasgemisch aus Schwefeldioxid und Kohlendioxid.

Durch Lösung im Wasser gehen Schwefeldioxid in Schwefelsäure und Kohlendioxid in aggressive Kohlensäure über. Rhythmisches Trocknen und wiederholte Beanspruchung mit den Angriffsmedien kann nach 4 Wochen Ausblühungserscheinungen an dem Stein bewirken.

An den Probekörpern Travertin, Weißjura und Muschelkalk blieb die Form sehr gut erhalten. Auf der Oberfläche entstanden kleine fleckige gelbweiße Ausblühungen von Gips. Auch Sandstein zeigte nur einen hauchdünnen mehllartigen Überzug. Da diese Ausblühungen

jedoch keine feste Verbindung zur Oberfläche hatten, ließen sie sich leicht abwaschen und es blieben kaum sichtbare Narben zurück.

In der Praxis sind solche Ausblühungen selbst unter dem Einfluß einer Industrieluftatmosphäre meist sehr viel schwächer ausgebildet. Bei Außenwandbekleidungen wird das Regenwasser diese Bildungen abwaschen.

Weitere Einflüsse ergeben sich von den Stickoxiden.

4.0 Rostverfärbungen

Zur Vermeidung von Rostbildungen sind stahlsandgesägte Platten werksmäßig abzusäuern.

4.1 Rostverfärbungen infolge Flugrost

Es wurde beobachtet, daß Eisenpartikel im Stadtgebiet von den schienenengebundenen Transportmitteln und deren Bremsen abgegeben werden, die sich auf den meist horizontalen und auskragenden schrägen Steinflächen ablagern und zu Rostbildungen führen können.

4.2 Rostverfärbungen auf Steinen durch äußere Einflüsse

Bei Stahl- oder Stahlbetonarbeiten im nahen Bereich der Natursteine werden oft Stahlteile geschweißt oder abgetrennt, ohne die Steine bzw. Steinflächen abzudecken. So werden die Sichtflächen der Steine mit feinsten Eisenteilchen übersät. Diese Schweißteilchen verursachen punktförmige Rostflecken, die sich im bearbeiteten Stein kapillar ausbreiten. Es ist deshalb bauseits darauf zu achten, daß bereits eingebaute Teile aus Naturwerkstein vor Schweißarbeiten geschützt werden.

Rostverfärbungen von außen können auch bei Grabmälern festgestellt werden, wenn die Bindedrähte der Kränze und aufgelegten Gebinde rostend längere Zeit auf dem Stein liegen.

Auch durch rostende Bewehrungen kann Rost auf den Naturwerkstein gelangen.

4.3 Rostbildung und Gesteinsschädigung bei Verdübelungen

Die Volumenvermehrung bei Rostbildung ist beträchtlich. Der Wachstumsdruck des sich bildenden Eisenhydroxides ist oft stärker als der Zusammenhalt des Steines. Abgesehen davon, daß heute Verdübelungen aus nichtrostendem Stahl zur Anwendung kommen, werden bei Geländerkonstruktionen im Freien rostgeschützte Geländerstäbe in den Stufenaussparungen mit Zement befestigt und entsprechend abgedichtet.

4.4 Rostfarbener Fugenausfluß bei Außenarbeiten

Wenn „Rostfahnen“ aus den Mörtelfugen des Naturwerkstein-Mauerwerks austreten, dann rührt das vorwiegend von nicht rostgeschützten und in die Hintermörtelung einbindenden Baustählen her oder von ähnlichen Quaderverdübelungen.

Rosterscheinungen sind von älteren Bauwerken bekannt, bei denen verzinkte Anker in nicht ganz materialgerechter Weise behandelt wurden. Heute wird nichtrostender Stahl für Anker verwendet.

5.0 Chemisch-biologische Einflüsse

An Baudenkmalern konnte festgestellt werden, daß Pflanzen (Bakterien, Algen, Pilze, Flechten, Moose etc.) durch Ausscheiden von organischen Säuren lokal zu einer chemischen Verwitterung bzw. Ätzung der Gesteine führen. Die Pflanzen wachsen besonders an feuchten Stellen. Deshalb ist schon bei der Planung darauf zu achten, daß diese vermieden werden. Auch Taubenmist vermag Abdeckmetalle zum Durchrosten zu bringen und somit unmittelbar infolge Dauerdurchfeuchtung auch Steine zu schädigen. (Mikroorganismen bei Standort und Detailausbildungen berücksichtigen.)

6.0 Chemische Einflüsse aus dem Versetz- und Verlegegrund

6.1 Ziegelmauerwerk

Auslaugungen und Aussinterungen aus dem Mauerwerk haben ihren Ausgangspunkt im Hauptbestandteil aller Mörtelbindemittel, dem Calciumhydroxid, wobei der Luftkalk mehr als 90% beinhaltet. Auch durch Zement wird bei der Hydratation Calciumhydroxid frei. Abgesehen von der Baufeuchtigkeit in neu erstellten Ziegelbauten muß mit Niederschlag gerechnet werden, der die Ziegel Hohlräume und Vermörtelungen zum Teil füllt, den Wasserdurchsatz erhöht und die Lösungsmöglichkeit von löslichen Salzen steigert.

6.2 Einflüsse der Zuschlagstoffe Sand und Kies

Der zu verwendende Zuschlagstoff soll rein, gewaschen und frei von schädigenden Bestandteilen sein. Humushaltige, öl- oder kohlehaltige Sande sind mörtelschädlich und deren Verwendung ist untersagt.

Wenn Lehm und Ton in Knollen auftreten oder fest an den Körnern haften, dann ist dies schädlich, da dadurch der Widerstand gegen die Verwitterung gemindert wird. Holzkeile, Sägespäne, Holzwolle und Zigarettenreste dürfen ebenso nicht im Sand sein. Kohlebestandteile wirken bei Aufnahme des Anmachwassers treibend. Vor allem Braunkohle ist festigkeitsmindernd.

Eisenspäne oder Kleinteile rosten. So sind Schweißarbeiten und Blechbearbeitungen von den Zuschlägen fernzuhalten.

6.3 Anmachwasser

Als Anmachwasser ist sauberes Wasser wie für Beton nach DIN 1045 zu verwenden.

6.4 Tausalzeiwirkung auf den Untergrund

Die Intensität des Tausalzaufrages ist verschieden groß. Bei den Streusalzen handelt es sich meist um Natriumchlorid. Die konzentrierten Chloridlösungen wirken im Zusammenhang mit Frost zerstörend auf Beläge und Fugenmassen ein. Die Eignung der Gesteine ist, wie die von Beton und Mörtel, bei dem Angriff von Tausalzen durch Prüfzeugnisse nachzuweisen.

7.0 Chemische Einflüsse aus dem Verlegemörtel

Als Bindemittel werden beim Versetzen vorwiegend Zemente verarbeitet.

Nach der chemischen Analyse sind die Hauptbestandteile des Zements CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 sowie SO_3 . Man unterscheidet zum Beispiel nach DIN 1164-1 von Okt. 1994 Portlandzement, Portlandpuzzolanzement (früher Traßzement) u. a.

Bei Sinterhitze (1450 °C) entsteht im Portlandzementklinker das Tricalciumsilicat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Daraus bilden sich bei der Hydratation unter Abspaltung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Calciumsilicathydrate.

Vom frisch aufgebrachtten Zementmörtel erfolgt ein Wasserentzug durch den Verlegegrund und die mit Kapillaren versehenen Bodenplatten.

Nach dem Verdunsten des überschüssigen Anmachwassers bleiben luftgefüllte Hohlräume zurück, die bei Durchfeuchtung kapillar vollgesogen werden. Durch wechselnde Feuchtegehalte können Quell- und Schwindvorgänge auftreten (Bewegungsfugen sind erforderlich).

7.1.1 Verdursten des Zements

Bei übermäßigem Wasserentzug kann die Erhärtung des Zementes gestört werden. Deswegen sind die Steine, zum Beispiel an den Flanken der Fugen, „mattfeucht“ vorzunässen, wenn mit einem zementgebundenen Mörtel verfugt wird.

7.1.2 Veränderung der hydraulischen Erhärtung durch Temperatureinfluß

Niedrige Temperaturen, etwa unter 5 °C bis 10 °C verlangsamen den Erhärtungsvorgang deutlich, höhere Temperaturen beschleunigen ihn.

7.1.3 Einwirkungen des Bindemittels auf Metalle

Zementmörtel greift infolge des gelösten Calciumhydroxids verschiedene Metalle an. Auch erhärteter und langanhaltend durchfeuchteter Mörtel sowie Beton kann aus dem Innern noch $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liefern und Metalle beschädigen (z. B. Zink, Blei, Aluminium). Stahl erhält durch $\text{Ca}(\text{OH})_2$ einen Korrosionsschutz.

7.1.4 Kalkauswaschungen aus dem Zementmörtel

Bei dem Durchwandern von Feuchtigkeit bei hintermörtelten Natursteinarbeiten werden Kalkhydrat und andere Stoffe an die Verdunstungsfläche transportiert. Auf den Oberflächen bleibt durch Carbonatisierung Kalksinter CaCO_3 (als Aussinterung) zurück. Wird altes Mauerwerk ständig durchnäßt, entstehen auch Aussinterungen über den Mörtelfugen. Geht während oder unmittelbar nach dem Verfugen Niederschlag auf den noch frischen Mörtel nieder, wird Ca(OH)_2 ausgewaschen und verbleibt infolge kapillaren Ansaugens auf porösen, z. B. rauh bearbeiteten Steinoberflächen, zurück und carbonatisiert.

Wenn bei kühlem Wetter verfugt wird, ist der Abbinde-mechanismus, wie schon gesagt wurde, sehr verzögert. Ca(OH)_2 bleibt dann lange Zeit auswaschbar, wodurch die gleichen Aussinterungen auftreten können.

Um auch das Aufnehmen von streusalzbeladener Feuchtigkeit bei Verblendmauerwerk aus porösen Sedimentgesteinen zu verhindern, wird in der Regel als unterste Schicht Granit oder Gneis verwendet. Über nochmaliger Isolierschicht werden dann erst die eigentlichen Steine versetzt.

Bei wiederholt durchnäßigtem dichten Zementmörtelbett unter Terrassenbelägen können ebenfalls Kalksinter-Auswaschungen auftreten, die sich vor allem dann zeigen, wenn das Gefälle der Terrasse nicht richtig angelegt wurde.

7.2 Portlandpuzzolanzement als Bindemittel

Für den Verlegemörtel von Plattenbelägen und zum Anmörteln von Wandbekleidungen ist Portlandpuzzolanzement (Traßzement) nach DIN 1164 oder für verfärbungsempfindliche Gesteine besonders geeigneter Spezial-Traßzement oder Schnellzement zu verwenden. Traßmehl darf zugesetzt werden.

Das Mischungsverhältnis Zement: Sand muß im Innenbereich 1:4, im Außenbereich 1:3 Raumteile betragen. Als Zuschlag ist Sand der Korngröße 0–4 mm zu verwenden.

Der Versetzmörtel für Werkstücke und Verblendmauerwerk mit Naturwerkstein ist dem Gestein so anzupassen, daß der Mörtel nicht fester und dichter ist als der Werkstein. Traßhaltige Mörtel der Mörtelgruppen II oder IIa sind zu bevorzugen.

7.3 Chemische Einflüsse aus dem Kalkmörtel

Das pulverförmige, in Papiersäcken vorliegende Kalkhydrat wird mit Anmachwasser aufbereitet. Mit der Kohlensäure der Luft geht es eine Bindung ein: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

7.4 Traßkalk-Verwendung

Beim Traßkalk liegt ein Gemisch von Traß als Puzzolan mit gelöschtem Kalkpulver Ca(OH)_2 oder hydraulischem Kalk vor.

7.5 Hydraulischer und hochhydraulischer Kalkmörtel und andere Bindemittel

Siehe BTI 1.6 und 2.5 Mörtel für Naturwerksteinarbeiten im Außen- und Innenbereich.

8.0 Einfluß von Säure bei der Gesteinsreinigung

Werden säurefeste Hartgesteine infolge Verschmutzung gereinigt und die vorhandenen Mörtelfugen nicht gründlich durchnäßt oder wird nach dem Absäuern nicht gut nachgespült, kann die auf den Fugen verbliebene Säure zu Schäden führen.

Bei Verwendung von Zementschleierentferner sind die Herstellerangaben zu beachten.

Die Gesteinsreinigung ist vorab an Probeflächen durchzuführen. Dabei ist insbesondere auf Anätzungen und Ausblühungen sowie auf Verfärbungen zu achten.

II. Bauphysikalische Einflüsse Außenarchitektur

Für die im folgenden genannten Prüfungen ist die Probenahme nach DIN 52101 vorzunehmen.

9.0 Frostwiderstand und Festigkeiten

Ein Gestein darf hinsichtlich seiner Verwitterungsbeständigkeit als brauchbar beurteilt werden, wenn es sich unter Klima- und Einbaubedingungen bewährt hat, die mindestens ebenso ungünstig waren, wie bei der vorgesehenen Verwendung erwartet werden kann.

Selbstverständlich handelt es sich bei dieser Aussage um Gesteine mit gleichen Eigenschaften aus demselben Steinbruch.

9.1 Frosteinwirkung und Verwitterungsbeständigkeit

Hauptfaktor der Frostverwitterung ist die Volumenvergrößerung des in die Gesteinsporen eingedrungenen Wassers beim Übergang zum Eis. Dies dehnt sich um ca. 9% seines Flüssigkeitsvolumens aus.

Im Stein tritt nur dann eine zerstörende Druckwirkung ein, wenn das gefrierende Wasser allseitig umschlossen wird. Schon enge Öffnungen in den Gesteinsporenräumen setzen die Druckspannung wesentlich herab, ja können sie sogar wirkungslos machen.

Die Gefahr der Frostsprengung im Stein ist um so größer, je vollständiger die Poren mit Wasser gefüllt sind.

Nur der dauernde Wechsel von Gefrieren und Auftauen führt zur Gesteinsschädigung.

Gefährlich für den Stein sind nur die Kapillarporen. Kugelförmige und große Poren bauen den Eisdruck sogar ab.

9.1.1 Porosität der Naturwerksteine nach DIN 52102

Während die Rohdichte aus dem Quotienten der lufttrockenen Masse und seinem Volumen einschließlich der etwa vorhandenen Gesteinsporen ermittelt wird:

$$\rho_R = \frac{m_{tr}}{V_R}$$

gewinnt man die (Rein)dichte aus dem Quotienten der Trockenmasse des pulverisierten Gesteins und ihrem Volumen ausschließlich der Gesteinsporen:

$$\rho_0 = \frac{m_{tr}}{V_0}$$

Die Rohdichten der Gesteine liegen zwischen ca. 1,70 und 3,10 kg/dm³.

Das Verhältnis der Rohdichte ρ_R zur (Rein)dichte ρ_0 zeigt den Dichtigkeitsgrad d auf.

$$d = \frac{\rho_R}{\rho_0}$$

Daraus erhält man die Gesamtporosität p :

$$p = \left(1 - \frac{\rho_R}{\rho_0}\right) \cdot 100\% = (1 - d) \cdot 100\%$$

Bei sehr dichten Gesteinen liegen Werte von 0,2–1,5 Volumenprozenten vor, sie können bei Konglomeraten und Basaltlava bis zu 30% betragen.

Nach DIN 52100*) (1939) liegen vorläufige Richtzahlen für die Gesamtporosität vor:

Gesteinsgruppen	(Volumenprocente)
A. Erstarrungsgesteine	
1. Granit, Syenit	0,4–1,5%
2. Diorit, Gabbro	0,5–1,2%
3. Quarzporphyr, Keratophyr, Porphyrit, Andesit	0,4–1,8%
4. Basalt, Melaphyr Basaltlava	0,2–0,9% 20–25%
5. Diabas	0,3–1,1%
B. Schichtgesteine	
6. Kieselige Gesteine	
a) Gangquarz, Quarzit, Grauwacke	0,4–2,0%
b) quarzitische Sandsteine	0,4–2,0%
c) sonstige Quarzsandsteine	0,5–25%
7. Kalksteine	
a) Dichte (feste) Kalke und Dolomite (einschl. Marmore)	0,5–2,0%
b) sonstige Kalksteine einschl. Kalkkonglomerate	0,5–30%
c) Travertin	5,0–12%
8. Vulkanische Gesteine	20–30%
C. Metamorphe Gesteine	
9. a) Gneise, Granulit	0,4–2,0%
b) Amphibolit	0,4–2,0%
c) Serpentin	0,3–2,0%
d) Dachschiefer	1,5–2,5%

9.1.2 Kapillarität

Sie beruht auf der Kraftwirkung zwischen Wasser oder anderen Flüssigkeiten einerseits und den Porenwänden bzw. Partikeln von Baustoffen andererseits. Die kapillare Steighöhe ist im wesentlichen abhängig vom Porendurchmesser, Beschaffenheit der Porenwände, der Gesteinskorngröße und von der Temperatur und chemischen Verunreinigung des Wassers.

9.2 Wasseraufnahme nach DIN 52103

Aus der Differenz zwischen der Masse der wassergelagerten Probe m_w und der getrockneten Probe m_{tr} schließt man auf die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck W_a :

$$W_a = m_{w,a} - m_{tr}$$

*) DIN 52100 wurde im Dez. 1992 zurückgezogen.

Den massenbezogenen Aufnahmegrad W_m unter Atmosphärendruck erhält man aus:

$$W_{m,a} = \frac{W_a}{m_{tr}} \cdot 100\%$$

In ähnlicher Weise ermittelt man den volumenbezogenen Wasseraufnahmegrad W_v , indem noch der Quotient ρ_R/ρ_W (ρ_W = Dichte des Wassers) mit einbezogen wird:

$$W_{v,a} = \frac{W_a}{m_{tr}} \cdot \frac{\rho_R}{\rho_W} \cdot 100\%$$

Bei dichten Gesteinen liegen Werte von 0,1–0,7 Massenprozenten vor, bei porösen Gesteinen können bis 20 Massenprocente auftreten.

Nach DIN 52100 (1939) liegen vorläufige Richtzahlen für die Wasseraufnahme vor, die hier durch einige aktuelle Werte ergänzt werden.

Gesteinsgruppen	Wasseraufnahme DIN 52103		
	Massen-% 1939	Massen-% 1993	„scheinbare Porosität“ Volumen-% 1939
A. Erstarrungsgesteine			
1. Granit, Syenit	0,2 bis 0,5	0,1–1,5	0,4 bis 1,4
2. Diorit, Gabbro	0,2 bis 0,4	–	0,5 bis 1,2
3. Quarzporphyr, Keratophyr, Porphyrit, Andesit	0,2 bis 0,7	0,2–3,0	0,4 bis 1,8
4. Basalt, Melaphyr Basaltlava	0,1 bis 0,3 4 bis 10	– –	0,2 bis 0,8 9 bis 24
5. Diabas	0,1 bis 0,4	–	0,3 bis 1,0
B. Schichtgesteine			
6. Kieselige Gesteine			
a) Gangquarz, Quarzit, Grauwacke	0,2 bis 0,5	0,2–1,0	0,4 bis 1,3
b) quarzitische Sandsteine			
c) sonstige Quarzsandsteine	0,2 bis 9	0,2–11	0,5 bis 24
7. Kalksteine			
a) Dichte (feste) Kalke und Dolomite (einschl. Marmore)	0,2 bis 0,6	0,1–3,0	0,4 bis 1,8
b) sonstige Kalksteine einschl. Kalkkonglomerate	0,2 bis 10 2 bis 5		0,5 bis 25 4 bis 10
c) Travertin		1–5	
8. Vulkanische Tuffsteine	6 bis 15	6–20	12 bis 30
C. Metamorphe Gesteine			
9. a) Gneise, Granulit	0,1 bis 0,6		0,3 bis 1,8
b) Amphibolit	0,1 bis 0,4		0,3 bis 1,2
c) Serpentin	0,1 bis 0,7		0,3 bis 1,8
d) Dachschiefer	0,5 bis 0,6		1,4 bis 1,8

9.3 Der Sättigungswert als Ausdruck der Verwitterungsbeständigkeit

Das in den Gesteinsporen eingeschlossene Wasser übt bei der Eisbildung auf diese einen Druck aus.

Jede Druckzunahme bedingt aber eine Erniedrigung der Gefriertemperatur. Sehr druckfeste Steine können z.B. unbeschadet den Eisdruck auf die Porenwandungen aufnehmen und verhindern bei niedrigen Frostgraden überhaupt eine Eisbildung.

Der Sättigungswert S (kurz S -Wert) nach DIN 52103 ist das Verhältnis:

$$S = \frac{\text{Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck } (W_a)}{\text{Wasseraufnahme unter Druck } (W_d)}$$

Dichte Gesteine (Granite, dichte Kalksteine u. a.) besitzen einen Sättigungswert, der nahe bei 1 liegt. Wie Glas nehmen solche Gesteine kaum eisbildendes Kapillarswasser auf und sind trotz eines Sättigungswertes $S > 0,9$ nicht frostgefährdet. Aus kleineren Sättigungswerten

ten kann nicht unbedingt auf einen hohen Frostwiderstand geschlossen werden.

9.4 Frost-Tau-Wechsel-Versuch nach DIN 52104

Nach Teil 1 der Norm sind verschiedene Verfahren anwendbar, da die Beanspruchung des eingebauten Gesteins durch Frost vom Grad der Wassertränkung sowie von der Abkühlgeschwindigkeit abhängt.

Fassadenplatten

Sie werden nach der Norm, Teil 1, Tabelle 1, Verfahren A geprüft: Wassertränkung bei Atmosphärendruck (nach Abschnitt 6.1.1); Wasserlagerung für starke Durchfeuchtung (nach Abschnitt 6.1.1.1); Frostbeanspruchung an Luft (Abschnitt 6.2.1).

Bodenplatten im Freien

Die Prüfung erfolgt nach dem Verfahren B: Wassertränkung bei Atmosphärendruck (Abschnitt 6.1.1); Wasserlagerung für starke Durchfeuchtung (nach Abschnitt 6.1.1.1); Frostbeanspruchung unter Wasser (nach Abschnitt 6.2.2).

Das Bestehen einer Prüfung nach Verfahren F schließt die Frostbeständigkeit nach den Verfahren A und B ein.

Der Frost-Tau-Wechsel-Versuch ist lediglich ein Laborversuch. Eine absolut eindeutige Aussage über die Verwitterungsbeständigkeit ist allein nach DIN 52104 nicht möglich.

9.5 Der Druckversuch nach DIN 52105

Der Druckversuch nach dieser Norm dient zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Naturwerkstein. Als Probekörper sind in der Regel Würfel mit einer Kantenlänge von 50 ± 2 mm bzw. Zylinder oder bei größeren Gesteinen größere Würfel mit einer Kantenlänge von 100 ± 5 mm bzw. Zylinder zu verwenden. Es muß auf die Schichtung, Bankung und Schieferung des natürlichen Gesteins geachtet werden.

Nach DIN 52100 (1939), Tafel 1, liegen vorläufige Richtzahlen für die Druckfestigkeit vor. Diese Werte werden aber häufig nicht erreicht. In der rechten Spalte stehen deshalb einige aktuelle Werte.

Gesteinsgruppen	1939 Druckfestigkeit des trockenen Gesteins DIN 52105 N/mm ²	1993 Druckfestigkeit des trockenen Gesteins DIN 52105 N/mm ²
A. Erstarrungsgesteine		
1. Granit, Syenit	160 bis 240	90 bis 270
2. Diorit, Gabbro	170 bis 300	120 bis 300
3. Quarzporphyr, Keratophyr, Porphyrit, Andesit	180 bis 300	120 bis 300
4. Basalt, Melaphyr Basaltlava	250 bis 400 80 bis 150	
5. Diabas	180 bis 250	
B. Schichtgesteine		
6. Kieselige Gesteine		
a) Gangquarz, Quarzit, Grauwacke	150 bis 300	
b) quarzitische Sandsteine	120 bis 200	
c) sonstige Quarzsandsteine	30 bis 180	20 bis 180
7. Kalksteine		
a) Dichte (feste) Kalke und Dolomite (einschl. Marmore)	80 bis 180	75 bis 240
b) sonstige Kalksteine einschl. Kalkkonglomerate	20 bis 90	20 bis 160
c) Travertin	20 bis 60	20 bis 100
8. Vulkanische Tuffsteine	20 bis 30	
C. Metamorphe Gesteine		
9. a) Gneise, Granulit	160 bis 280	100 bis 280
b) Amphibolit	170 bis 280	
c) Serpentin	140 bis 250	
d) Dachschiefer	—	

Die Naturwerksteine können in Gruppen entsprechend den Druckfestigkeiten gegliedert werden.

Diese Werte sind als Richtwerte aufzufassen.

Gesteinsarten	Druckfestigkeit in MN/m ² (N/mm ²)
Kalkstein, Travertin, vulkanische Tuffsteine	20
Weiche Sandsteine (mit tonigem Bindemittel) und dergleichen	30
Dichte (feste) Kalksteine und Dolomite (einschließlich Marmor), Basaltlava u. dergl.	50
Quarzitische Sandsteine (mit kieseligem Bindemittel), Grauwacke u. dergl.	80
Granit, Syenit, Diorit, Quarzporphyr, Melaphyr, Diabas u. dergl.	120

9.6 Verschleißprüfung nach DIN 52108

Unter Verschleiß im Sinne der Technik wird der Materialverlust der bearbeiteten Steinoberfläche verstanden. Der Volumenverlust bezieht sich auf eine behandelte Fläche von 50 cm². Es ist richtig, daß bei stark frequentierten Bodenbelägen außen und innen niedrige Werte vorliegen müssen.

Nach DIN 52100 (1939), Tafel 1, liegen vorläufige Richtzahlen für die Abnutzung durch Schleifen vor:

Diese Werte werden in einigen Fällen nicht erreicht. In der rechten Spalte stehen deshalb einige aktuelle Werte.

Gesteinsgruppen	1939 Abnutzung durch Schleifen DIN 52108 Verlust auf 50 cm ² in cm ³	1995 Abnutzung durch Schleifen DIN 52108 Verlust auf 50 cm ² in cm ³
A. Erstarrungsgesteine		
1. Granit, Syenit	5 bis 8	4 bis 8
2. Diorit, Gabbro		
3. Quarzporphyr, Keratophyr, Porphyrit, Andesit		
4. Basalt, Melaphyr Basaltlava	5 bis 8,5 12 bis 15	
5. Diabas	5 bis 8	
B. Schichtgesteine		
6. Kieselige Gesteine		
a) Gangquarz, Quarzit, Grauwacke	7 bis 8	6 bis 35
b) quarzitische Sandsteine	10 bis 14	7 bis 39
c) sonstige Quarzsandsteine		
7. Kalksteine		
a) Dichte (feste) Kalke und Dolomite (einschl. Marmore)	15 bis 40	11 bis 36
b) sonstige Kalksteine einschl. Kalkkonglomerate		14 bis 80
c) Travertin		20 bis 35
8. Vulkanische Tuffsteine	–	
C. Metamorphe Gesteine		
9. a) Gneise, Granulit	4 bis 10	7 bis 25
b) Amphibolit	6 bis 12	
c) Serpentin	8 bis 18	
d) Dachschiefer	–	

9.7 Biegeversuch von Naturstein nach DIN 52112

Der Biegeversuch nach dieser Norm dient zur Bestimmung der Biegefestigkeit von Naturwerkstein.

Ein Probekörper (Balken) des zu prüfenden Gesteins mit im allgemeinen quadratischem Querschnitt wird auf zwei Auflagern

- a) beim Verfahren mit Mittelpunkt-Belastung (A) mit einer in der Mitte zwischen den Auflagern angreifenden Einzelkraft (siehe Bild 1) und
- b) beim Verfahren mit Drittelpunkt-Belastung (B) mit zwei in den Drittelpunkten zwischen den Auflagern angreifenden Kräften (siehe Bild 2)

stetig bis zum Bruch belastet. Dabei ist das Verfahren A das Standardverfahren.

Die Schichtung bzw. andere Anisotropie-Erscheinungen sind zu beachten. Es gelten die Bilder 3 bis 5 (Bildbezeichnungen siehe DIN 52112).

Die Prüfkörper sind mit der zur Ausführung kommenden Oberfläche in der Zugzone zu prüfen.

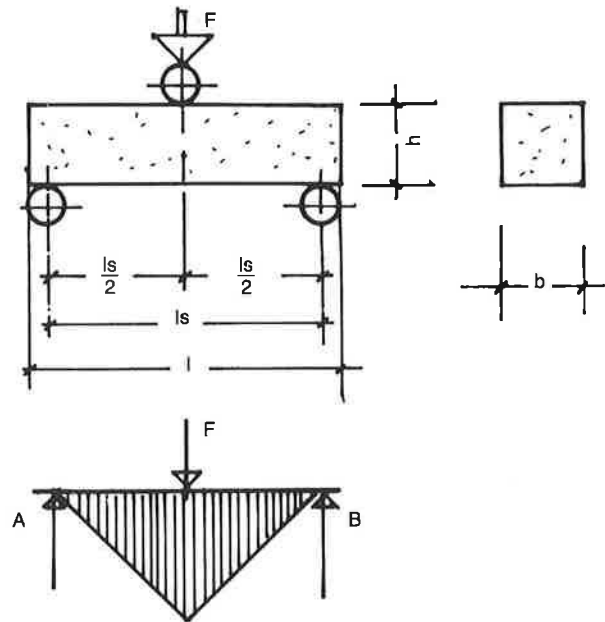


Bild 1: A
Mittelpunkt-Belastung (A)

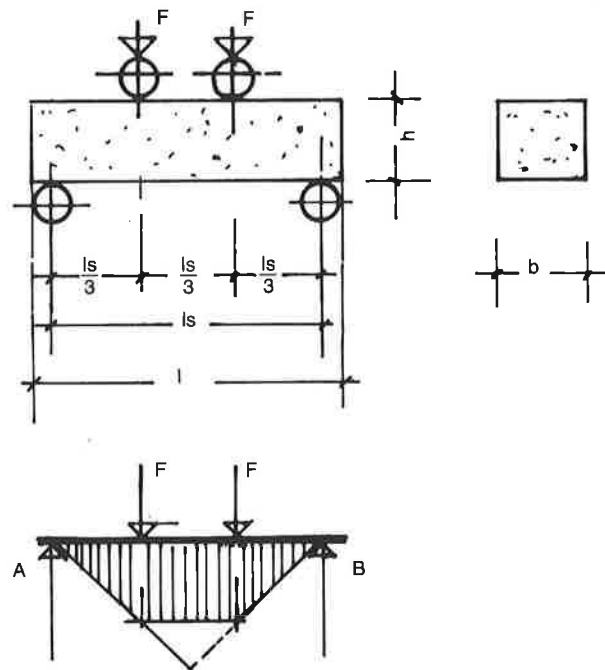


Bild 2: B
Drittelpunkt-Belastung (B)

Die Maße der Probekörper sind 50 × 50 × 300 bzw. 100 × 100 × 600 mm (Gesteine mit besonderem Gefüge). Bei plattigem Gestein, wie Dachschiefer, dienen Stücke von 200 mm × 100 mm der gegebenen Dicke als Probekörper.

Aus vorhandenen Platten, z. B. Fassadenplatten, mit einer Dicke zwischen 30 und 50 mm sind Probekörper zu entnehmen, deren Länge der 6fachen Dicke und deren Breite dem 2- oder 3fachen der Plattendicke entspricht.

Damit ergeben sich

- bei 30 mm dicken Platten Probekörper von 180 mm × 90 mm und
- bei 40 mm dicken Platten Probekörper von 240 mm × 80 mm.

Nach DIN 52100 (1939), Tafel 1, liegen vorläufige Richtzahlen für die Biegefestigkeit vor: Diese Werte werden in einigen Fällen nicht erreicht. In der rechten Spalte stehen deshalb einige aktuelle Werte.

Gesteinsgruppen	1939 Biegefestigkeit DIN 52112 N/mm ²	1993 Biegefestigkeit DIN 52112 N/mm ²
A. Erstarrungsgesteine		
1. Granit, Syenit	10 bis 20	5 bis 22
2. Diorit, Gabbro	10 bis 22	–
3. Quarzporphyr, Keratophyr, Porphyrit, Andesit	15 bis 20	7 bis 20
4. Basalt, Melaphyr Basaltlava	15 bis 25 8 bis 12	13 bis 25
5. Diabas	15 bis 25	
B. Schichtgesteine		
6. Kieselige Gesteine		
a) Gangquarz, Quarzit, Grauwacke	13 bis 25	11 bis 25
b) quarzitisches Sandsteine	12 bis 20	
c) sonstige Quarzsandsteine	3 bis 15	1 bis 15
7. Kalksteine		
a) Dichte (feste) Kalke und Dolomite (einschl. Marmore)	6 bis 15	3 bis 21
b) sonstige Kalksteine einschl. Kalkkonglomerate	5 bis 8 4 bis 10	2 bis 15 2 bis 13
c) Travertin		
8. Vulkanische Tuffsteine	2 bis 6	0,5 bis 6
C. Metamorphe Gesteine		
9. a) Gneise, Granulit	–	5 bis 25
b) Amphibolit	–	
c) Serpentin	–	
d) Dachschiefer	50 bis 80	40 bis 80

Nach DIN 18516, Teil 3 – Außenwandbekleidungen, hinterlüftet, Naturwerkstein, Abschnitt 2.1, ist die Biegefestigkeit von Naturwerkstein in Anlehnung an die Vorschriften der DIN 52112 als Grundlage für die Bemessung zu ermitteln.

Bemessung von Fassadenplatten (DIN 18516, Teil 3, Abschnitt 3): Die zulässige Biegespannung und Ausbruchlast ist aus den Prüfzeugnissen unter statistischer Auswertung (5% Quantil bei einem Vertrauensniveau von 75% und dreifacher Sicherheit) an mindestens 10 Proben zu ermitteln. Bei der statistischen Auswertung ist von einer logarithmischen Normalverteilung auszugehen.

Bei den befahrenen Gehwegplatten ist die 1,5fache Sicherheit der Biegefestigkeit und bei tragenden ausladenden Treppenplatten eine 5fache Sicherheit angezeigt.

9.8 Ausbruchlast am Ankerdornloch

Von der Landesgewerbeanstalt Bayern, Zweigstelle Würzburg, wurden in Zusammenarbeit mit dem DNV die Richtlinien zur Ermittlung der Ausbruchlast am Ankerdornloch in Fassadenplatten aus Naturwerkstein erarbeitet. Danach werden Probekörper mit Seitenlängen von 150 × 150 mm (bei Plattendicken bis 50 mm) beziehungsweise 200 × 200 mm (bei Plattendicken ab 40 mm möglich, ab ≥ 50 mm Plattendicke erforderlich) angefertigt. In die vier Seitenflächen jedes Probekörpers ist mittig zur Länge, im vorgesehenen Randabstand zum belasteten Rand, im Regelfall je ein Dornloch mit einem Durchmesser von 10 mm und 30 mm tief rechtwinklig zu bohren. Wie beim Biegeversuch nach DIN 52112 sind die Schichtung bzw. andere Anisotropie-Erscheinungen zu beachten. Dazu gelten die Bilder 2 bis 5 der genannten Richtlinien (Bildbezeichnungen siehe dort und in DIN 52112).

In die Dornlöcher werden Prüfdorne mit Zementleim eingebettet. Nach frühestens 7 Tagen werden die aus dem Probekörper herausragenden Prüfdorne mit einer Prüfmaschine einzeln bis zum Ausbruch belastet. Die Prüfkörper sind mit der zur Ausführung kommenden Oberfläche in der Ausbruchzone zu prüfen. Neben der Dorn-Ausbruchlast werden die Dicke des Probekörpers, die Lochwanddicke in Krafrichtung und die größte Ausbruchbreite auf die Dornachse bezogen im Prüfzeugnis festgehalten. Die Auswertung erfolgt nach DIN 18516, Teil 3, Abschnitt 3 wie bei 9.7 dieser BTI (Biegeversuch) beschrieben. Vorläufige Richtzahlen für die Ausbruchlast am Ankerdornloch gibt es nach DIN 52100 nicht, da bei deren Ausarbeitung das Prüfverfahren noch nicht existierte.

Nach Angaben der Landesgewerbeanstalt Bayern, Zweigstelle Würzburg, können die nachfolgenden vorläufigen Richtzahlen erreicht werden.

Gesteinsgruppen	5% Quantil Ausbruchlast am Ankerdornloch (N) bei Restdicke d			
	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm
A. Magmatische Gesteine				
1. Granit, Syenit	300–800	500–1400	800–1900	
2. Dionit, Gabbro				
3. Rhyolith, ...				
4. Basalt, ...				
5. Diabas				
B. Sedimentgestein				
6. a) Quarzit, Grauwacke				
b) quarz. Sandsteine				
c) sonst. Quarzsandsteine		100– 600	100– 700	200–1100
7. a) dichte Kalke, Dolomit, Marmor	100–900		400–1900	
b) sonst. Kalksteine, Konglomerate	100–600	200– 900		
c) Travertin	100–500	200– 900		
A.8. Tuffsteine			100– 500	
C. Metamorphe Gesteine				
9. a) Gneise, Granulit	200–800			
b) Amphibolit				
c) Serpentin				
d) Dachschiefer				

10.0 Temperatureinflüsse

10.1 Thermische Dehnung

Die Längenzunahme (Δl) eines Körpers ist um so stärker, je größer seine Ausgangslänge (l_0) und die Temperaturerhöhung (Δt) ist.

Die relative Längenänderung bei einer Temperaturerhöhung von 1 K

$$\alpha_T = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} = \frac{\text{mm}}{\text{mm} \cdot \text{K}} = \frac{1}{\text{K}}$$

wird als Längenausdehnungskoeffizient (Wärmedehnzahl) bezeichnet. Dieser ist besonders beim Calcit deutlich anisotrop.

Die Bestimmung der Wärmedehnzahl α_T für die einzelnen Natursteine gehört nicht in den Bereich der Routineprüfungen. Diese Untersuchungen sind relativ langwierig und erfordern einen beträchtlichen Aufwand.

Mit jahreszeitlich unterschiedlichen Temperaturdifferenzen ist auch bei Belägen im Freien zu rechnen. Es ist wichtig für das Anlegen von Dehnfugen, die Wärmedehnzahlen der einzelnen Materialien zu kennen. Aus der Literatur, 'Dr. Grunau – Fassade und Wasserhaushalt der Wand' – Tabelle 19: Physikalische Werte von Natursteinen, wurden deshalb vorhandene Prüfwerte

für die thermische Dehnung von 80 °C in mm/m übernommen und auf 100 K umgerechnet (–20 °C bis +80 °C). Ebenfalls werden die Werte für Quellung und Kontraktion in mm/m aufgezeigt.

Die Annahme einer jahreszeitlichen Temperaturdifferenz von 100 K schließt mit wenigen Ausnahmen die sich eventuell zur thermischen Dehnung addierenden Quellungsbewegungen mit ein.

Thermische Bewegungen von hinterlüfteten Fassadenplatten werden durch das Verankerungssystem aufgenommen.

Thermische Bewegungen von Bodenbelägen müssen durch richtig bemessene Bewegungsfugen ausgeglichen werden.

Nach DIN 18516, Teil 3, Abschn. 3.4 – Zusatzlasten aus Temperaturdifferenzen und Zwängung – wird die Wärmedehnzahl der Platten $\alpha_T = 0,00001 \text{ mm}/(\text{mm K})$ eingesetzt.

Bei Fassadenflächen, deren Platten untereinander Kraftschluß besitzen, z. B. durch beidseitig eingemörtelte Ankerdorne, ist für die Verschiebung der Ankerköpfe eine Schwankung der Plattenmitteltemperatur von $\pm 35 \text{ K}$ gegenüber dem Einbauzustand einzusetzen.

Physikalische Werte von Naturwerksteinen nach Grunau

Material	Thermische Dehnung bei 100 K Temp. Differenz in mm/m	Quellung und Kontraktion in mm/m
Sandstein	1,20 mm/m	0,30–0,70 mm/m
Basalt	0,90 mm/m	0,35 mm/m
Gabbro	0,88 mm/m	0,13 mm/m
Granit, Syenit	0,80 mm/m	0,06–0,18 mm/m
Kalkstein	0,70 mm/m	0,10–0,16 mm/m
Dichte Kalksteine und Dolomite	0,75 mm/m	0,10 mm/m
Travertine	0,68 mm/m	0,10–0,12 mm/m
Quarzit, Quarzporphyr, Porphyrit	1,25 mm/m	0,08 mm/m
Trachyte	1,00 mm/m	0,10 mm/m
Diabas	0,75 mm/m	0,09 mm/m
Schiefer	–	0,10–0,13 mm/m
Andesite	0,53 mm/m	0,10 mm/m
Diorit	0,88 mm/m	0,12 mm/m
Andere Baustoffe:		
Stahlbeton	1,00 mm/m	0,14–0,16 mm/m
Beton	1,20 mm/m	0,14–0,16 mm/m
Zementmörtel	1,00 mm/m	0,20 mm/m
Betonwerkstein	1,20 mm/m	0,16–0,20 mm/m

10.2 Wärmeaufnahme infolge Sonneneinstrahlung

Sonneneinstrahlung bei wolkenlosem Himmel auf freistehende Gebäude.

Bauteil	Gesamte Tageseinstrahlung		Höchstwert der stündlichen Einstrahlung	
	Tageszeit (Uhrzeit)	Wärmemenge kJ/qm	Tageszeit (Uhrzeit)	Wärmemenge kJ/qm
Ostwand	4.00–12.00	11721	7.00– 8.00	2198
Südwand	7.30–16.30	8581	11.30–12.30	1570
Westwand	12.00–20.00	11721	16.00–17.00	2198
Nordwand	4.00– 7.30	1465	5.30– 6.30	628
Nordwand	16.30–20.00	1465	17.30–18.30	628
Flachdach	4.00–20.00	25535	11.30–12.30	3035

10.3 Einfluß des Farbtons der Gesteine

Beim Massivgestein bedingt die allgemeine schlechte Wärmeleitfähigkeit, daß die Erwärmung durch die auf die Gesteinsoberfläche auftreffende Wärmemenge verhältnismäßig langsam in das Gesteinsinnere weitergeleitet wird.

Der Wechsel im Wärmehalt beschränkt sich vornehmlich auf die äußeren Gesteinspartien. Unter gleichen thermischen Bedingungen wird die auftretende Spannung dann am größten sein, wenn das Gestein aus mehreren Mineralien mit unterschiedlichem thermischen Verhalten aufgebaut ist. Bei der Fassadenbekleidung gilt, daß die auf ihrer Oberfläche sich einstellende Temperatur weitgehend vom Farbton des Materials abhängig ist. Eine Fassade wird um so mehr aufgeheizt, je dunkler ihre Farbe ist.

Nach Architekt Hebgen, Ludwigshafen, ist die Intensität der Sonneneinstrahlung von verschiedenen Faktoren abhängig:

1. Trübung der Atmosphäre, wie z.B. die mehr oder minder großen Staubbelastungen in Großstädten. Je dichter die Trübung, desto geringer ist die Strahlung. Für extreme Klimasituationen im Hochsommer, von denen man bei Berechnungen eigentlich immer ausgehen sollte, muß ein kleiner Trübungsfaktor ($T = 2$) angenommen werden.
2. Bewegung der Außenluft. Je kräftiger der Wind bläst, desto geringer ist die Wandaufheizung. Höhere Gebäude sind im Hochsommer an windstillen und wolkenlosen Tagen besonders starken Beanspruchungen durch Sonneneinstrahlung ausgesetzt.
3. Einfallswinkel der Sonneneinstrahlung.

10.4 Einfluß auf Naturwerkstein-Fassadenbekleidungen

Die Oberflächentemperaturen können von den Werten D für Putz auf Dämmung für hinterlüftete Fassadenbekleidungen übernommen werden. Bei den hinterlüfteten Naturwerksteinfassaden tritt in den 3–4 cm dicken Platten eine Temperaturdifferenz zwischen exponierter Außenfläche und Plattenrückseite von 3–5 K auf. Besondere Verhältnisse ergeben sich bei kaltem Regen auf stark erwärmte Platten, wo kurzzeitig erheblich höhere Temperaturdifferenzen auftreten können.

Die eingestrahelte Wärmemenge wird je nach Farbe und dem Grad der Verschmutzung reflektiert und absorbiert. Bei offenen Plattenfugen ist vollständiger Luftaustausch gegeben.

Absorptionsfähigkeit der Fassadenoberfläche

Fach- gruppe	Farbenbezeichnung aus RAL-Karte	Sonneneinstrahlung (T = ca. 2)		Oberflächentemperaturen °C bei ca. 30 °C Lufttemperatur										
		Reflexion	Absorption	Himmelsrichtung										
				D	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW		
1	Zitron-hell, Creme-hell, Elfenbein, Pfirsich-hell, Weiß-matt	1015	über	70	30	W							33	
		1016	unter			29	31	36	34	32	35	38	33	
		9002				D	30	39	45	43	41	44	47	42
		9012												
2	Blaßgrau, Pastellgelb, Pastellgrün, Aprikot, Gelbgrau, Senfgelb	1014	69	bis	31	W							36	
		1018	60			29	33	39	37	35	38	41	36	
		6019	60			D	31	42	48	46	44	47	50	45
		7035												
3	Perlrosa, Grüngrau, Goldgelb, Horizontblau, Kieselgrau	1000	59	bis	41	W							39	
		1012	50			30	34	42	40	38	41	44	39	
		1017	50			D	32	45	51	49	47	50	53	48
		7032												
4	Rotorange-hell, Weisengold, Pastellgrau	1002	49	bis	51	W							42	
		1007	40			30	39	45	43	41	44	47	42	
		2003	40			D	33	48	54	52	50	53	56	51
		3015												
5	Rotgrau, Steingrau, Bambus-gelb, Grautürkis	1005	39	bis	61	W							44	
		3012	30			31	42	48	46	44	47	50	44	
		5012	30			D	34	51	57	55	53	56	59	53
		7001												
6	Steingrün, Honiggelb, Braunorange	1011	29	bis	71	W							47	
		1020	20			31	45	51	49	47	50	54	47	
		2000	20			D	35	54	60	58	56	59	63	56
		7036												
7	Azurblau, Tiefgrün, Terracotta, Tieftürkis, Dunkelgrau, Dunkelbraun	2001	19	bis	81	W							52	
		5007	10			32	49	56	54	52	56	60	52	
		6000	10			D	36	57	64	62	59	61	68	59
		8001												
8	Ochsblut, Schwarz, Schwarzblau	3011	unter	10	über	W							59	
		6020	10			33	55	63	61	58	63	68	59	
		7013	10			D	37	62	70	68	65	70	75	64
		8011												

W = Putz auf Mauerwerk D = Putz auf 4 cm Dämmung

An extrem heißen Sommertagen ist in unserem Klima mit etwa 10 K höheren Temperaturen zu rechnen.

10.5 Einfluß auf Bodenbeläge

Bei Belägen im Freien und im Inneren bei großen Fenstern wird ebenfalls mit 100 K jahreszeitlicher Temperaturdifferenz gerechnet. Die Belagsflächen, gleich welcher Verbandsform, werden in Felder unterteilt. Für die Fugen ist die thermische Dehnung nach Abschnitt 10.1 zu beachten.

10.6 Wärmeleitfähigkeit der Naturwerksteine

Aus Villwock – Industriegesteinskunde:

Wärmeleitfähigkeit einiger Gesteine (nach REICH, KAPPELMEYER u. a.).

Gestein	W/(m·K)
Magmatische Gesteine	
Granit	1,6–3,4
Andesit	2,0–3,0
Basalt	1,2–3,0
Tuff	0,4–1,7
Metamorphe Gesteine	
Gneis	1,6–2,1
Marmor	2,0–2,6
Serpentinit	3,4
Sedimentgesteine	
Kalkstein	2,0–3,4
Sandstein	1,2–3,4
Tonschiefer	1,2–2,1

Spezifische Wärmekapazität und Speicherkennzahl.

Die spezifische Wärmekapazität als Maß für die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 kg eines Stoffes um 1 Kelvin (K) zu erwärmen, liegt bei Natursteinen

$$C \sim 920 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Die Speicherkennzahl S ist anschaulicher und gibt die Wärmemenge an, die 1 m³ eines Stoffes um 1 K erwärmt. Je schwerer ein Stoff ist, um so größer wird S (kJ/(m³ · K)):

Dichte Natursteine ~ 2500 kJ/(m³ · K)

Porige Natursteine ~ 2200 kJ/(m³ · K).

10.7 Elastizitätsmodul

Elastizitätsmodul: E

Nach dem speziellen Hookeschen Gesetz ist der Quotient aus der Spannung und der von ihr hervorgerufenen Dehnung eine Konstante, der Elastizitätsmodul E

$$\text{Elastizitätsmodul} = \frac{\text{Spannung } \sigma}{\text{Dehnung } \varepsilon}; \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Bei den Festgesteinen wird der E-Modul von den Gesteinskomponenten, ihrem Erhaltungszustand, von den Gefügemerkmalen, dem Feuchtigkeitsgehalt usw. beeinflusst.

Die Elastizität des Gesteins ist gegenüber mechanischer Beanspruchung und Witterungseinflüssen von Bedeutung, Gesteine mit hohem Vermögen an Verformbarkeit können größere zusätzliche Spannungen ausgleichen als starre. Diese sind gegenüber Spannungserhöhung innerhalb der Druckfestigkeitsgrenzen sehr empfindlich.

Elastizitätsmodul von Festgesteinen

(nach Niggli und Reich aus Villwock-Industriegesteinskunde)

	Elastizitätsmodul E N/mm ²
I. Magmatische Gesteine	
Tiefengesteine	
Granite	= 3,8– 7,6 · 10 ⁴ = 38000– 76000
Syenite	= 6,4 · 10 ⁴ = 64000
Gabbros	= 11,2–12,5 · 10 ⁴ = 112000–125000
Dunite	= 6,0–17,8 · 10 ⁴ = 60000–178000
II. Ergußgesteine	
Porphyre	= 2,5– 6,5 · 10 ⁴ = 25000– 65000
Diabase	= 7,8–11,5 · 10 ⁴ = 78000–115000
Basalte	= 5,8–10,3 · 10 ⁴ = 58000–103000
III. Sedimentgesteine	
Sandsteine	= 0,8– 1,8 · 10 ⁴ = 8000– 18000
Quarzite, Grauwacken	= 7,4– 7,7 · 10 ⁴ = 74000– 77000
Kalksteine (mesozoisch)	= 4,0– 7,4 · 10 ⁴ = 40000– 74000
Kalksteine (paläozoisch)	= 6,2– 9,2 · 10 ⁴ = 62000– 92000
Kreide, weich	= 0,8 · 10 ⁴ = 8000
Karbon-Tonschiefer (II z. Schieferung)	= 3,0– 3,8 · 10 ⁴ = 30000– 38000
Karbon-Tonschiefer (I z. Schieferung)	= 0,1– 1,7 · 10 ⁴ = 1000– 17000
IV. Metamorphe Gesteine	
Gneise (II z. Schieferung)	= 3,6 · 10 ⁴ = 36000
Gneise (I z. Schieferung)	= 1,3 · 10 ⁴ = 13000

11.0 Quellen und Schwinden der Naturwerksteine

Von der Größe des Wassergehaltes eines Stoffes hängt eine ganze Reihe weiterer Eigenschaften ab.

Längenänderungs- und Volumenänderungswerte sind:

Längenänderung infolge Quellen und Schwinden

$$E_l = \frac{\Delta l}{l_0} \text{ Bezogene Längenänderung}$$

Vol.-Änderung infolge Quellen und Schwinden

$$E_v = \frac{\Delta V}{V_0} \text{ Bezogene Volumenänderung}$$

Schwindmaß = Längen- oder Volumenabnahme eines trocknenden Stoffes bezogen auf den Ausgangszustand

Quellmaß = Längen- oder Volumenzunahme eines nassen quellenden Stoffes bezogen auf den Ausgangszustand

Feuchtigkeitsbedingte Längenänderungen verschiedener Stoffe sind bezogen auf eine Differenz von 50% relativer Luftfeuchte (50% auf 100%).

Bezogene hygrische Längenänderungen in mm/m siehe 10.1.

12.0 Wasserdampfdiffusion und die Naturwerksteine

Wasserdampf wandert von Stellen, wo er reichlich vorhanden ist, also dort, wo hohe Dampfkonzentration vorliegt, zu Stellen mit niedrigerer Dampfkonzentration und wird in den Gesteinen entsprechend der relativen Feuchte sorptiv gebunden.

Wasserdampf vermag auch durch Schichten zu dringen, die flüssiges Wasser nicht hindurchlassen. Ein kapillarer Wassertransport erfolgt erst nach Überschreiten der kritischen Feuchte.

Dieser Wasserdampfwanderung setzen die einzelnen Baustoffschichten der Außenwand ihren eigenen Diffusionswiderstand entgegen. Je höher dieser ist, um so weniger Wasserdampf kann durch die Baustoffschicht diffundieren.

Bei den heutigen hinterlüfteten Fassaden sind negative Einflüsse aus der unterschiedlichen Feuchte des eigentlichen Bauwerkes und der Fassadenplatten weitgehend ausgeschlossen. Eine größere Rolle spielt die Feuchte bei der Restaurierung von historischen Bauwerken aus Naturwerkstein. Dabei sind Bereiche unterschiedlicher Feuchte zu vermeiden.

Tabelle für die Feuchtigkeitsschutzberechnung nach Grunau

Nr.	Baustoffe oder Bauteile	Rohdichte kg/m ³	Dampf- leitzahl	Diffusions- widerstands faktor Richtwert	Lagefaktor
1.11	Dichte Natursteine (Granit, Syenit, Marmor)	2800	0,002	Dampf- sperre	86,0
1.12	Porige Natursteine (Sandsteine, Muschelkalke, Travertine, Tuffe)	2400– 1300	0,005– 0,022	3–10	35–57
2.10 2.11	Putze (Innen und Außen) Estriche, Mörtelfugen Kalk-, Kalkzement-, und Hydr. Kalkmörtel	1700	0,012	10	7,50
2.12	Zementmörtel (mit Sand)	1900	0,008	15	18,0
2.20 2.21	Betone und Leichtbetone (in fugenlosen Bauteilen und großformatigen Platten) Kies- oder Splittbeton mit geschlossenem Gefüge, Betongüte B-160 (St-Bet)	2400	0,004	21–35	61,0
2.26	Bimsbeton, Blähtonbeton, und Beton aus geschäumter oder granulierter Hochofen- schlake	800 1000 1200	0,024 0,020 0,018	2,5 6 10	0,63 1,80 4,00
2.27	Dampfgehärteter Gas- und Schaumbeton, Leichtkalkbeton	400 600 800 1000	0,032 0,030 0,028 0,022	2,5 3,5 6,5 10	0,30 0,70 1,63 3,00
3.00	Mauerwerk aus Viellochziegeln (DIN 105), einschließlich Mörtelfugen	1200 1400	0,030 0,025	4,5 6,0	2,00 3,10
2.46	Gas- und Schaumbetonsteine (DIN 4165), Leicht-Kalkbetonsteine, luftgehärtet	800 1000 1200	0,025 0,020 0,020	6,0 10 16	2,30 4,80 9,50
9.40	Holzwohle-Leichtbauplatten 25–35 mm dick	450	0,050	6,5	0,52
9.10	Mineralische Faserdämmstoffe (Glas-, Stein- und Schlackenfasern nach DIN 18165)	30–200	0,050	1,4	0,08
9.60	Korkplatten	120–200	0,060	30	1,05–1,20
9.90	Kunstharzschaumplatten, Styropor	15 20 25	– – –	40 70 100	1,40 2,50 3,50

Herausgeber:

DEUTSCHER NATURWERKSTEIN-VERBAND e.V. 97070 WÜRZBURG, SANDERSTR. 4

Copyright: Printed in Germany 1995

Druck: Werkbund-Druckerei Würzburg

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung behält sich der Herausgeber vor.

Die vorliegende Bautechnische Information berücksichtigt die Ergebnisse wissenschaftlicher Erkenntnisse und langjähriger Erfahrungen aus der Praxis, die sich bei der Ausführung von Naturwerksteinarbeiten ergeben haben. Sie berücksichtigt ferner alle zur Zeit geltenden betreffenden Bau-normen und dient vorwiegend als Information für die praktische Anwendung, jedoch unter Ausschluß jeglicher Haftung.