

Die Verfärbungen an natürlichen Bausteinen infolge Verwitterung von Eisensulfidmineralien

Autor(en): **Weber, Jacques**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **84 (1966)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68827>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Verfärbungen an natürlichen Bausteinen infolge Verwitterung von Eisensulfidmineralien

DK 691.2.004.6:549.32

Von Dr. Jacques Weber, Petrograph, EMPA, Dübendorf

1. Charakterisierung der Eisensulfidmineralien

Unter den unerwünschten natürlichen Nebengemengteilen der Bausteine sind die Eisensulfide wohl die am weitesten verbreiteten und wegen ihrer Unbeständigkeit auch die am meisten gefürchteten Mineralien. Davon sind vier Arten für die Baupraxis von Bedeutung:

Pyrit (FeS_2), auch Eisen- oder Schwefelkies genannt, ist das weit-aus häufigste natürliche Eisensulfid. Von speisgelber bis goldgelber Farb-tönung und metallischem Glanz, kristallisiert er im kubischen System meistens idiomorph als Würfel, Oktaeder oder Pentagondodekaeder (Bild 1). Seltener kommt er auch in feinkörnigen oder derben Aggregaten vor und ist dann leicht grünlichgelb gefärbt. An den Felsoberflächen sind die Pyritkristalle oft braun angelaufen.

Markasit (FeS_2) stellt eine rhombische Kristallmodifikation des Pyrites dar. Er ist meist prismatisch, als grobstrahlige oder feinfaserige Aggregate ausgebildet (sogenannter Strahlkies, Bild 2) und hat eine speisgelbe bis grünlich- oder graugelbe, metallisch glänzende Farb-tönung. In feuchter Luft ist er sehr unbeständig.

Magnetkies ($\text{FeS} \cdot [\text{xS}]$) kristallisiert hexagonal in meist derben Aggregatmassen, seltener als tafelige bis säulige Kristalle von bronze-gelber metallischer Farbe und ist bisweilen braun angelaufen.

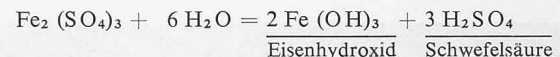
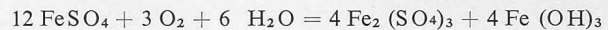
Kupferkies (CuFeS_2) ist das seltenste dieser Sulfidmineralien. Er kristallisiert im tetragonalen System, doch sind schön ausgebildete Kristalle selten; er tritt meistens in feinkörnigen bis derben Massen auf. Seine Farbe ist messing- bis goldgelb. An der Luft läuft er bunt an.

Die Eisensulfide treten in den Sedimentgesteinen sehr oft in feindisperser Form auf, insbesondere dort, wo die Ablagerung in reduzierendem Medium stattgefunden hat (Faulschlamm, bituminöse Kalke und Tone, Kohle, Torf). Sie werden entweder als Markasit oder direkt als Pyrit ausgeschieden, wobei der Markasit sehr unbeständig ist und daher mit zunehmendem Alter des Sedimentgesteins in Pyrit übergeht. Schon bei schwacher Gesteinsmetamorphose wird dann der Pyrit, der eine sehr ausgeprägte kristalloblastische Tendenz aufweist, umkristallisiert. Das Korn wird vergrößert, so dass es zu deutlichen Sammelkristallisationen in den dichten alpinen Kalksteinen oder Ton-schiefern kommt. Mit zunehmender Gesteinsumwandlung unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen nehmen die Pyritkristalle immer mehr makroskopische Grössen an und können in Ausnahmefällen zu Riesenindividuen von einigen cm Durchmesser anwachsen. Auch durch Imprägnationen aus benachbarten magmatischen Massen oder Lösungen kann der Sulfidgehalt eines metamorphen Gesteins erhöht werden. Daraus geht hervor, dass gerade die für die Baupraxis in der Schweiz bedeutendsten Gesteinsarten wie Spatkalke, Marmore, Quarzite und Phyllite (Dachschiefer) relativ reich an Eisensulfid, und zwar ganz besonders an Pyrit sein müssen, da sie im Ablauf der Meta-morphose auf einer fortgeschrittenen Stufe stehen oder gar End-produkte derselben darstellen.

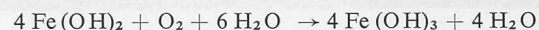
Während die vulkanischen Ergussgesteine fast durchwegs frei von Sulfidmineralien sind, führen die magmatischen Tiefengesteine häufig Magnetkies und spärlich Pyrit. Die pneumatolytischen und hydro-thermalen Ganggesteine sind sogar sehr reich an Sulfidmineralien. Ganz besonders reich daran waren die hydrothermalen Restlösungen der magmatischen Herde, welche durch Wanderung in Klüften und Hohlräumen das Nebengestein stark imprägnierten und durch Aus-scheidung in diesen Gängen Anlass zur Bildung von eigentlichen Pyrit-, Magnetkies- und Kupferkieslagerstätten gaben. Auf diese Weise drangen die Sulfidmineralien auch in Granite, in Gneise und in meta-morphe Schiefer ein, sind jedoch meistens nur örtlich angereichert.

2. Der Verwitterungsvorgang der Eisensulfidmineralien

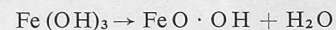
Betrachtet man die Vorgänge, welche bei der atmosphärischen Oberflächenverwitterung des Pyrites, des wichtigsten Vertreters der Reihe der Sulfidmineralien, stattfinden, so kann man feststellen, dass die Oxidation des Eisens die eigentliche Ursache der Fleckenbildungen in den Bausteinen darstellt. In einer vereinfachten Formulierung können die Zersetzungsvorgänge des Pyrites chemisch folgendermassen veranschaulicht werden:



Die schwefelsauren Lösungen, die dabei entstehen, führen zu einer *potenzierten Verwitterung* [3], das heisst sie wirken auf die Pyrit-körnchen und auf die umliegenden Mineralien zersetzend ein. Beson-ders stark ist die zerstörende Wirkung der Schwefelsäure auf den Kalk- und Dolomitspat der Karbonatgesteine, so dass die Pyritkörner immer mehr freigelegt werden und der Verwitterung eine noch grössere Angriffsfläche bieten. Das aus der Pyritzeretzung entstehende *Eisenhydroxid*, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, anfänglich blassbraun und in Säuren leicht löslich, wird durch die Gesteinsfeuchtigkeit auf die Gesteinsober-fläche verteilt und in deren Unebenheiten oder Mikroporen abgesetzt. Auch sogenannter *weisser Rost*, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, kann sich in diesem Stadium ohne sichtbare Folgen bilden und sich auf die Gesteinsoberfläche ver-teilen und geht später über in Eisenhydroxyd:



Durch Altern und Austrocknen wird das Eisenhydroxid unlös-lich und geht in Goethit über, der auch als *Limonit* oder «Eisenrost» bezeichnet wird:



3. Die Fleckenbildungen

Der bei Verwitterung der Eisensulfidmineralien entstehende Limonit hat eine rotbraune bis gelbbraune Farbe und kann in dickeren Krusten auch dunkel- bis schwarzbraun werden. Diese Farbtöne kontrastieren mit den meisten Natursteinfarben und zwar um so stärker, je heller das Gestein ist. Am auffallendsten sind sie natürlich an weissen oder hellgrauen Gesteinsarten wie Marmoren und Quarzi-ten.

Die Marmorgesteine führen fast immer Pyrit in meist lupen-grossen Körnern (rd. 0,1 mm) und in wechselnden Mengen (Bilder 3 und 5); völlig pyritfreie Marmore sind sehr selten. Marmorplatten, die im Freien stehen oder sonst ständigen Feuchtigkeitseinwirkungen ausgesetzt sind, beginnen schon nach ungefähr sechs Monaten oder einem Jahr etwas gelbbraun oder schwach rostbraun zu werden. All-mählich verstärkt sich die Verfärbung, so dass bald bei pyritreichen Platten schlierige oder streifige braune Zonen immer deutlicher auf-fallen. Nach etwa zwei bis drei Jahren sind alle Pyritkörnerchen in der Oberflächenschicht der Marmorplatte völlig zersetzt und verschwun-den; zurück bleiben nur die braunen Flecken, welche zum Teil von dunkleren Zentren ausgehen, also von dort, wo ursprünglich die Pyritkörner lagen. Die bei der Pyritzeretzung entstehenden schwefel-sauren Lösungen rauhen die Gesteinsoberfläche in der Umgebung der Sulfidkörner auf und bilden so eine gut haftende Unterlage für den Rostansatz.

Die Art der Verteilung und der Anordnung der Pyritkörner im Gestein spielt für die Fleckenbildung eine sehr grosse Rolle. Gleich-mässig verteilte Körnerchen führen zu schwachen gleichmässigen Ver-färbungen, während Pyritkonzentrationen in Zügen oder in Nestern, wie sie zum Beispiel bei Carrara-Marmoren in den grauen, meist dolomitischen Streifen des Gesteins häufig anzutreffen sind, zu un-regelmässigen, sehr intensiv gefärbten Flecken Anlass geben (Bilder 4 und 5). Bei Fassadenverkleidungen und bei Bodenbelägen sind es sehr oft nur einzelne Platten, welche besonders reich an Sulfidmineralien sein können und sich daher von der grauweisen Umgebung stark abheben (Bild 6).

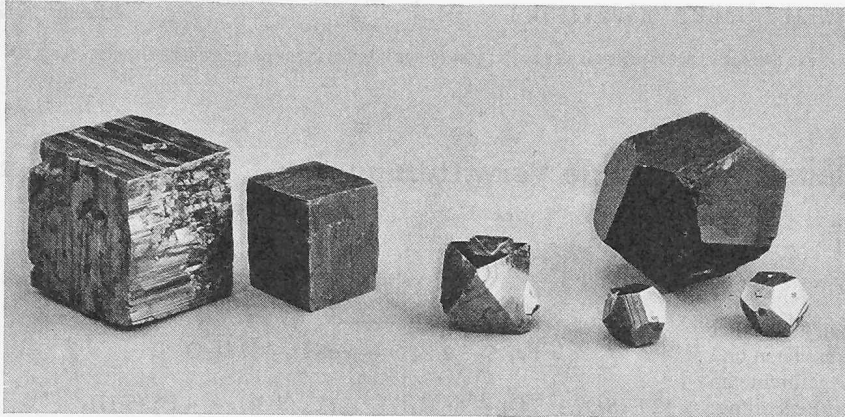


Bild 1. Pyrit in typischen Kristallisationsformen: links zwei Würfel, in der Mitte ein Oktaeder und rechts drei Pentagondodekaeder

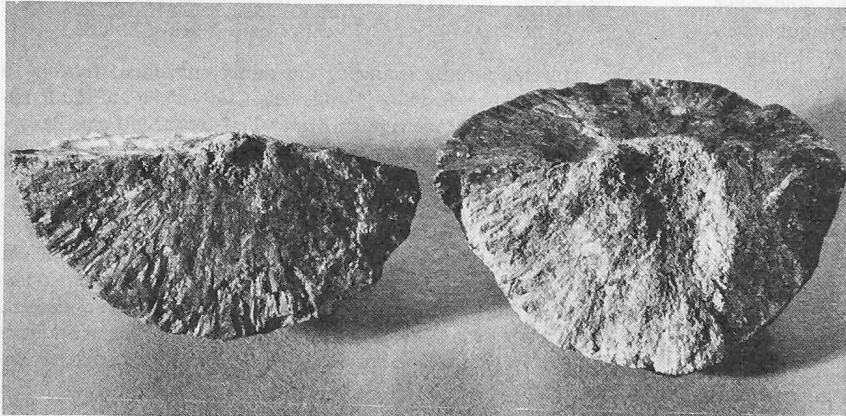


Bild 2. Markasit-Konkretion in charakteristischer radialstrahliger Ausbildung (sog. Strahlkies). Die helle Bruchfläche der rechten Hälfte ist mit Gips und Schwefel belegt, die aus der Zersetzung des Minerals entstanden sind

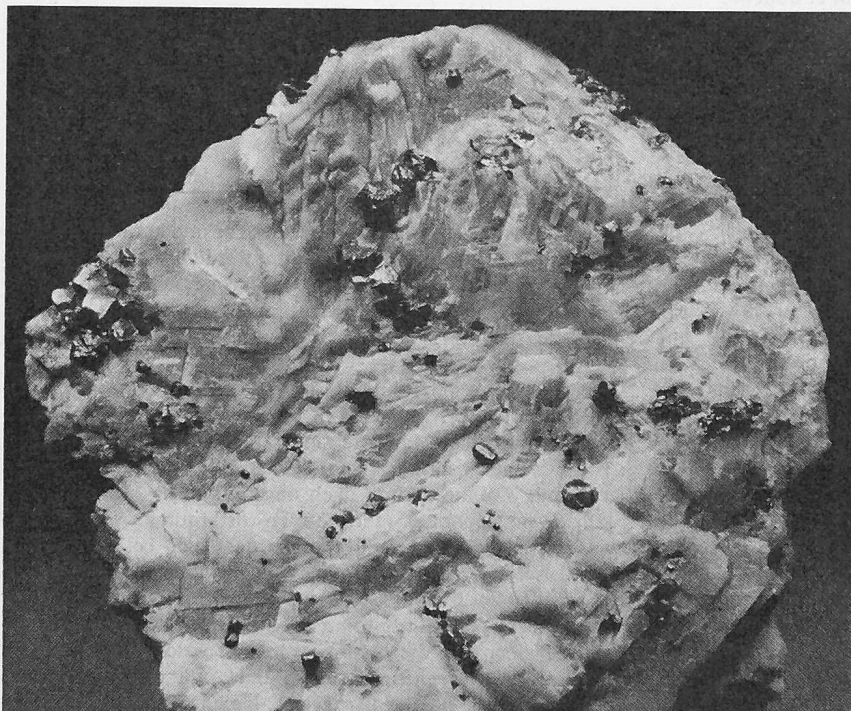


Bild 3. Pyritkristalle in grobkörnigem Kalkmarmor angereichert. Die etwa 0,1 bis 2 mm grossen Pyritkristalle lassen zum Teil pentagondodekaedrische Formen erkennen

Die von Natur aus streifig- bis flammigbraun getönten, glimmerführenden Marmore, vom Typus Castione und Cristallina, enthalten grösstenteils ebenfalls Pyrit, dessen Verwitterungswirkung jedoch weniger auffallend ist.

Gleiche Auswirkungen können Eisensulfide auch in den hellen, sehr feinkörnigen Jurakalksteinen und in den ebenfalls sehr feinkörnigen (sogenannten dichten), meist dunkleren Alpenkalksteinen oder in den Kalk- und Dolomitbreccien haben, doch sind sie in diesen Gesteinsarten weniger häufig anzutreffen (Bilder 7, 8, 10). Es sind dies nur sehr schwach oder gar nicht umgewandelte Gesteine, in denen die Eisensulfide keine Gelegenheit zur Sammelkristallisation hatten und

deshalb weiterhin feindispers vorliegen. Solche Gesteine, die oft fälschlicherweise auch als Marmore bezeichnet werden, nehmen nach vielen Jahren eine schwache, gelbbraunliche Oberflächentönung an, welche völlig gleichmässig verteilt ist und nicht besonders störend auffällt.

In weissen, hellgrauen oder hellgrünlichen Quarziten ist der Pyrit sehr verbreitet, hat jedoch, abgesehen von stärkeren Konzentrationszonen, nur eine beschränkte örtliche Auswirkung. Die Zersetzung des Pyrites geht bei diesen Gesteinsarten viel langsamer vor sich, da die schwefelsauren Lösungen auf Quarz praktisch keine zerstörende Wirkung haben und der Prozess nur allmählich von der freiliegenden Kornoberfläche her nach innen fortschreitet.

Die Verfärbung an natürlichen Bausteinen infolge Verwitterung von Eisensulfidmineralien

Von Dr. Jacques Weber, Petrograph, EMPA, Dübendorf

Photos EMPA, Dübendorf

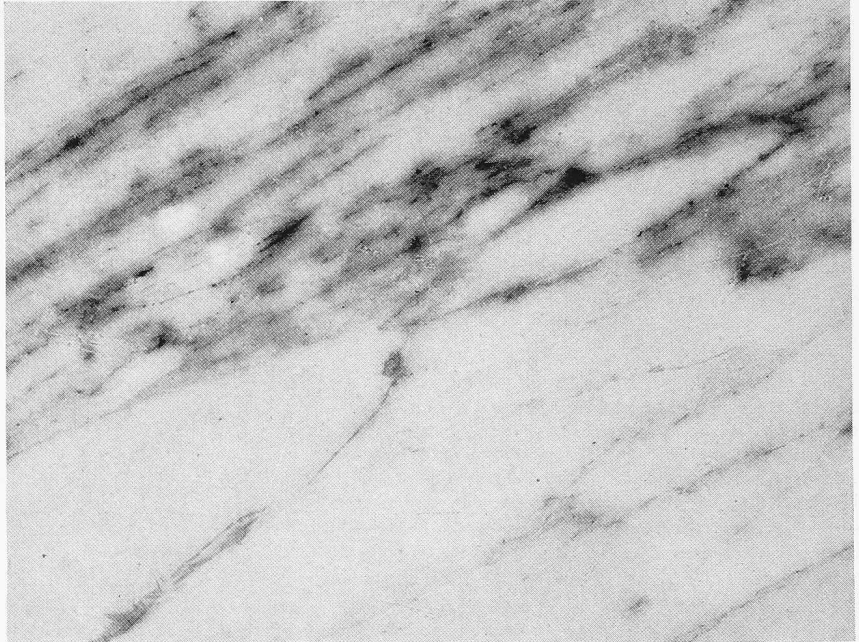


Bild 4. Geschliffene Kalkmarmorplatte aus Carrara. In der oberen Bildhälfte streifige bis schlierige Verfärbungen, ausgehend von Zonen mit grossen Pyritanhäufungen in sehr feinen Körnern (rd. 0,02 bis 0,15 mm Φ). Diese Oberflächenpartie sah ursprünglich ähnlich wie diejenige der unteren Bildhälfte aus, wo die grauen dolomitischen Streifen die einzige Musterung des Gesteins darstellen

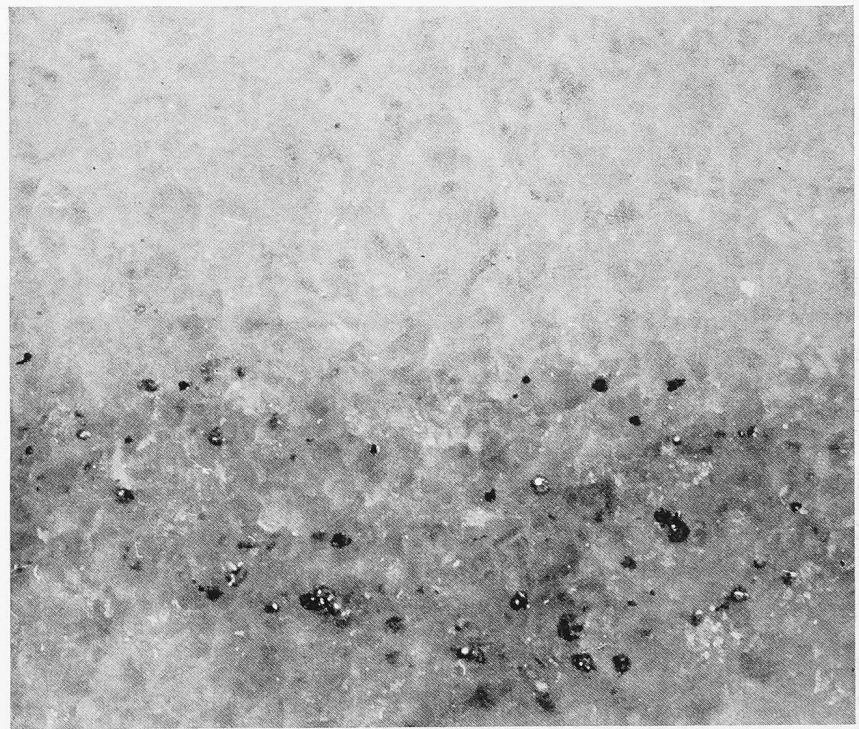


Bild 5. Detailaufnahme der Marmorplatte von Bild 4 in rd. 25facher Vergrößerung. Die pyritreiche Partie ist intensiv rostbraun verfärbt und kontrastiert stark mit der weissen pyritfreien Fläche in der oberen Bildhälfte



Bild 6. Rostbraun verfärbte pyritreiche Marmorplatten an einer Fassade aus hellgrauen Kalksteinen

Bild 7. Geschliffene Oberfläche einer Platte aus einem an Spiralschnecken-Trümmern reichen Kalkstein des mittleren Malms. Die zahlreichen schwarzen Punkte sind verwitterte, rostbraun verfärbte Pyritkristalle. Die Fleckenbildung ist in der Detailaufnahme der mit einem Kreis markierten Stelle deutlicher erkennbar (Bild 8)

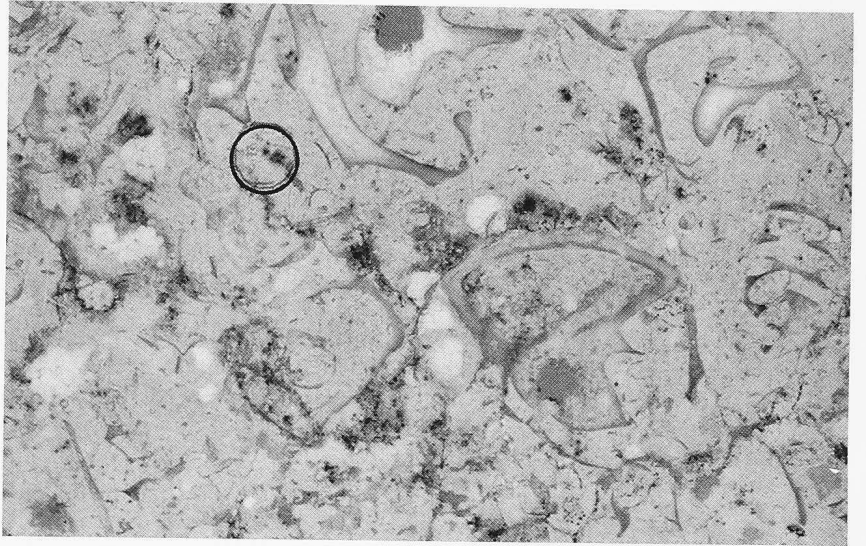


Bild 8. Detailaufnahme aus derselben Gesteinsplatte wie im Bild 7 (Kreismarkierung), in rd. 25facher Vergrößerung. Erkennbar sind die Farbhöfe um die Pyritkristalle und die diffuse bis schlierige Fleckenbildung

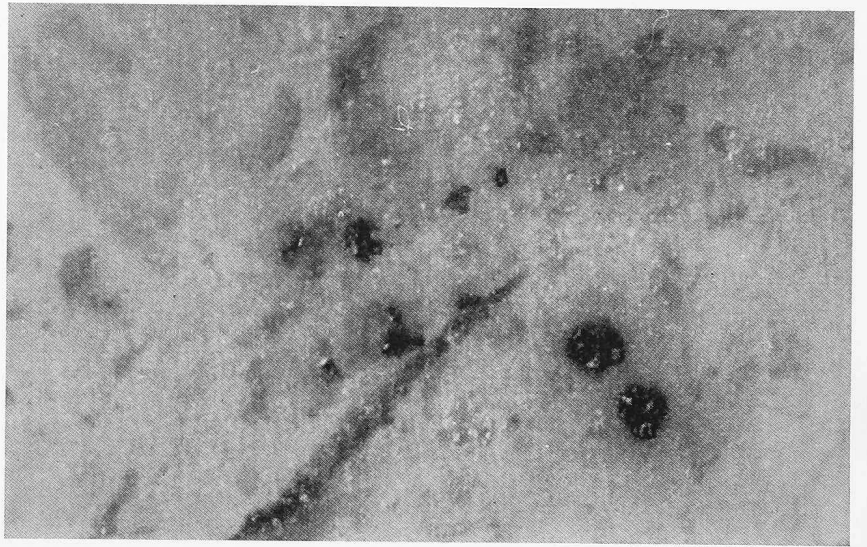
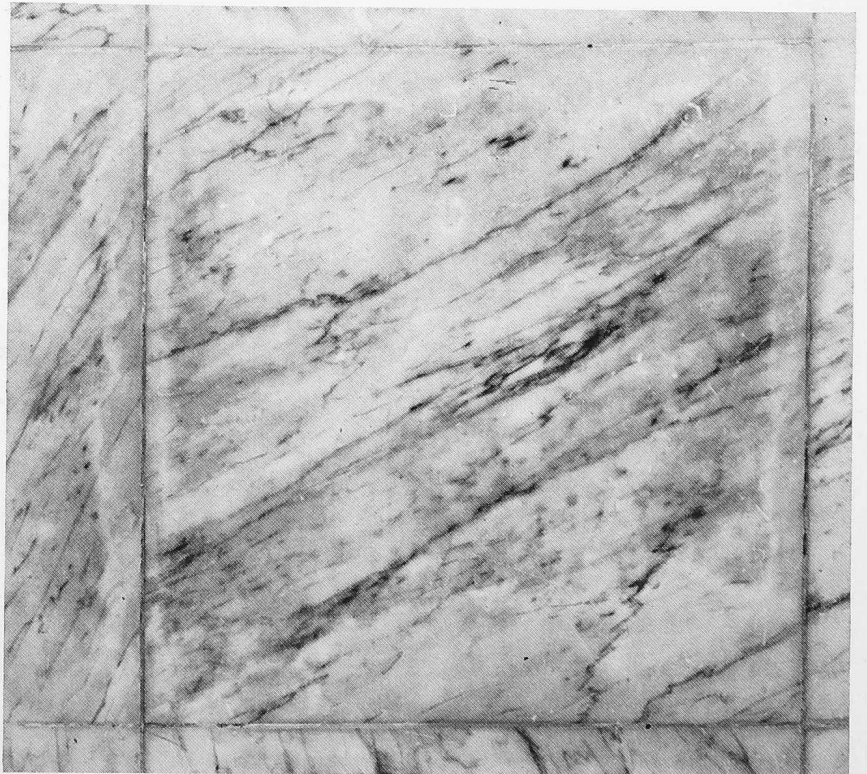


Bild 9. Verfärbte Bodenplatten aus pyritreichem Carrara-Marmor. Die Randpartien der Platten sind durch die konservierende Wirkung alkalischer Infiltrationslösungen aus dem Fugenmörtel unverfärbt geblieben



Die Dach- und Tafelschiefer (Phyllite und Kalkphyllite) führen ebenfalls sehr oft Pyrit, welcher vor allem bei Grabsteinen oder bei Tischplatten unangenehme Überraschungen bereiten kann. Bei den Hausdachplatten (Dachschiefer) aus diesem Material gibt er wohl auch Anlass zu Fleckenbildungen, welche jedoch nicht sehr stören, da sie im allgemeinen wenig beachtet werden. Dagegen sind Dachschiefer mit merklichem Markasitgehalt, wegen der relativ raschen und intensiven Zersetzung dieses Minerals gefürchtet. Karbonathaltige Phyllite sind bedeutend empfindlicher für Fleckenbildungen aus Pyritzerersetzung als karbonatfreie.

Die sauren kristallinen Gesteine wie Gneise, Granite usw. enthalten nur sehr selten Eisensulfidminerale (Pyrit, Magnetkies und Kupferkies) und zwar meistens nur in der Umgebung von Gängen, Injektionen oder grösseren Intrusivmassen. Sie sind im allgemeinen grob kristallisiert und schon von blossem Auge erkennbar. Manchmal sind sie auf Klüftflächen angereichert und führen dann zum gefürchteten «Rosten» der Bausteine.

Beträchtliche Anhäufungen an Eisensulfiden können die basischen Kristallingesteine, wie Gabbros, Diorite, Serpentine, Ofensteine usw. aufweisen. Auch hier sind sie aber durch den Fachmann meist sofort erkennbar und daher leicht zu meiden; in diesen vorwiegend dunkelgrauen bis dunkelgrünen Gesteinen haben sie eine wenig auffallende Wirkung.

4. Beispiele charakteristischer Schadenfälle

Die Fassade eines Neubaus in Zürich wurde mit Platten aus weissem, grau gestreiftem Carrara-Marmor verkleidet. Nach einem Jahr begannen grosse Fassadenpartien sich gelbbraun zu verfärben, und nach etwa zwei Jahren waren die Flecken stellenweise so auffallend, dass der Bauherr eine Untersuchung veranlasste. Diese ergab, dass die nach Nordwesten gerichteten Fassadenteile, welche am stärksten dem Regen ausgesetzt waren und nur langsam trocknen konnten, besonders intensiv gefleckt waren, während die südlichen Partien nur schwache Verfärbungen zeigten; regengeschützte Platten unter dem Vordach oder in den Hauseingangsnischen waren völlig frei von Verfärbungen. Die mikroskopische Prüfung zeigte, dass die streifig-schlierigen Flecken von Zentren ausgingen, die reichlich Pyritkörnern von 0,01 bis 0,20 mm Grösse enthielten und die vorzugsweise in den grauen, etwas dolomitischen Streifen konzentriert waren. Eine Durchdringung der Platten mit eisenrosthaltigen Lösungen war ausgeschlossen. Der Versetz- und der Fugenmörtel reagierte stark, eine fleckenfreie Randzone von rd. 1,5–2 cm Breite deutlich phenolptaleinalkalisch. Als eindeutige Ursache der Fleckenbildung wurde die Verwitterung des Pyrites erkannt.

Ähnliche Ergebnisse lieferte die Untersuchung von Bodenplatten aus weissem Carrara-Marmor beim Haupteingang und auf dem Treppenvorplatz des Untergeschosses eines anderen Neubaus in Zürich. Viele dieser Marmorplatten waren besonders pyritreich und zeigten sehr intensive, unregelmässige, wirklich entstellende Flecken. Die streifigen Flecken verliefen völlig konkordant mit den Richtlinien der Zonen mit Pyritanreicherungen. Die Verwitterung wurde in diesem Falle hauptsächlich durch die Feuchtigkeit der regelmässigen Bodenreinigung und durch nasses Schuhwerk gefördert. Auch hier wurde die Erscheinung der schwach alkalischen, rd. 1–3 cm breiten fleckenfreien Randzone der Platten sehr deutlich festgestellt (Bild 9). Gleiches kann von einem Bodenbelag aus Carrara-Marmor in einer Wohnung eines Neubaus in der Westschweiz berichtet werden, wo die Zersetzung des Pyrites anscheinend durch häufiges Waschen des Bodens begünstigt wurde.

In allen erwähnten Fällen muss die Fleckenfreiheit der Plattenränder auf den konservierenden (oxidationshemmenden) Einfluss der alkalischen Lösungen, welche aus dem Fugenmörtel in das Gestein eindringen, zurückgeführt werden. Dieser Einfluss ist in zweierlei Hinsicht bedeutend:

1. Die alkalische Lösung (Calcium- und Alkalihydroxid) neutralisiert die bei der Sulfidzerersetzung entstehende Schwefelsäure unter Bildung von Gips und verhindert deshalb die potenzierte Verwitterung.
2. Die verwitterungsfördernde Einwirkung von Schwefeldioxid und von schwefliger Säure aus rauchgashaltiger Luft, wird durch die Neutralisation dieser Schwefelverbindungen unterbunden.

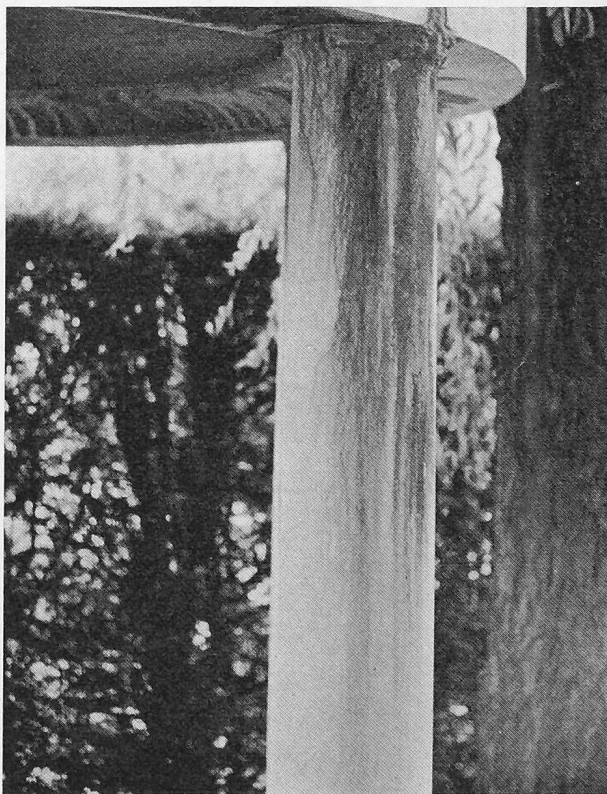
Auch die Unterflächen der Platten, welche auf dem stark alkalischen Versetzmörtel ruhten, waren stets frei von Rostflecken, was den konservierenden Einfluss der alkalischen Lösungen eindeutig bestätigt.

Die Hausfassade eines älteren Baues in Basel, die mit Cristallina-Marmor verkleidet worden war, zeigte ebenfalls braune Verfärbungen, enthielt jedoch nur noch kleine Spuren von Pyrit, meist in stark zer-



Bild 10. Fleckenbildungen ausgehend von starken Pyritanhäufungen an einem Grabstein aus Jurakalkstein

Bild 11. Sehr intensive örtliche Verfärbung an einer Denkmalsäule aus Marmor, ausgehend von einem Pyritherd im obersten Teil der Säule



setzem Zustand. Hier war demnach das schädliche Eisensulfid durch die Verwitterung fast völlig aufgebraucht und verschwunden. – Weitere Beispiele von typischen Fleckenbildungen an Denkmalsteinen können den Bildern 10, 11 und 12 entnommen werden; sie sind so deutlich, dass sie hier keiner näheren Erklärung bedürfen.

5. Rostfleckenbildungen ohne Mitwirkung der Eisensulfide

Nicht alle rostbraunen Verfärbungen rühren von einem Gehalt der verwendeten Gesteinsarten an Sulfidmineralien her. Sehr ähnliche Erscheinungen werden durch feine Teilchen von *metallischem Eisen* verursacht, welche sich beim Schneiden der Gesteinsplatten vom Sägeblatt oder vom Sägeseil lösen und in die Plattenoberflächen ein-

gepresst werden oder an diesen fest haften. Werden solche Schnittflächen nicht nachbehandelt, so entstehen an diesen «eisenverseuchten» Gesteinen innert kürzester Zeit Verfärbungen. Dieser Schaden ist verhältnismässig einfach durch «eisenfreies» Nachschleifen oder durch sorgfältige chemische Steinreinigung zu beheben.

Durch unsachgemässe Versetzung von Boden- und Fassadenplatten können eisenhydroxidhaltige Lösungen von unten her das Gestein durchdringen und an die Oberfläche gelangen. Diese «Eisenlösungen» können durch freiliegende, rostende Betonarmierungen, Halte- und Verankerungsdübel, eisenhaltige Schlackensande im Mörtel u.a.m. entstanden sein; die dadurch erzeugten Verfärbungen sind meistens nicht mehr zu beheben.

Ganz anderen Ursprungs sind die braunen Verfärbungen, welche durch Bitumen oder durch andere, färbende organische Substanzen verursacht werden können. Zirkulationswasser oder Kriechlösungen vermögen aus Bitumenanstrichen oder aus dem bituminierten Splitt der Trittschalisolationen gewisse farbige Anteile herauszulösen und an die Gesteinsoberfläche zu bringen. Sie sind vermeidbar, und zwar entweder durch peinliche Trockenhaltung des Bauobjektes oder durch das Anbringen eines wasserundurchlässigen Isolationsanstriches auf der Plattenunterseite (zum Beispiel auf Kunstharzbasis).

Sehr selten sind Verfärbungen, die durch die Verwitterung von Eisenglimmer (Biotit) oder von Hornblende- und Augitmineralien in den kristallinen Gesteinen verschuldet werden. Diese weitverbreiteten gesteinsbildenden Mineralien verwittern sehr langsam, das heisst während Jahrzehnten, so dass die dabei entstehenden minimalen Eisenoxidmengen durch die Abnutzung laufend weggeschafft werden. Schädlich sind sie nur in solchen Fällen, in denen bereits stark angewitterte Gesteine mit zersetztem Biotit (sogenanntes Katzensand) oder rostiger Hornblende als Bausteine verwendet wurden.

Olivinhaltige Gesteine wie Peridotite, Serpentine oder Basalte sind viel empfindlicher gegenüber der Verwitterung und verfärben sich unter besonders ungünstigen Bedingungen deutlich rostbraun, wenn auch nicht so schnell wie sulfidhaltige Gesteine. Schliesslich nehmen glaukonithaltige Sedimentgesteine, wie gewisse Hartsandsteine und Kieselkalke aus den Alpen, durch Oxidation des eisenhaltigen, wenig beständigen Minerals Glaukonit, mit den Jahren eine bräunliche Farbtonung an.

In keinem Zusammenhang mit dem Mineralbestand des Gesteins oder mit der Bauunterlage stehen die stark rostigen Baufassaden und Denkmäler, die sich in der unmittelbaren Nähe von Tram- und Eisenbahnhaltstellen oder von Geleisebiegungen auf Strecken mit

starkem Gefälle befinden. Die Färbung wird in solchen Fällen durch Flugrost verursacht, der bei starkem Bremsen der Schienenfahrzeuge entsteht, aufgewirbelt und in der näheren Umgebung wieder abgesetzt wird [2]. Diese Objekte können relativ leicht chemisch gereinigt werden, doch würden sie, solange die Ursache der Verfärbung weiterhin besteht, schon nach kurzer Zeit die rostbraune Farbe wieder annehmen.

6. Behebung und Vorbeugung der Eisensulfidverfärbungen

Hat sich eine Fleckenbildung eingestellt, so wird man sich zunächst fragen, ob und wie diese Flecken entfernt werden können. Dabei muss zwischen Bausteinen, die einer mehr oder weniger starken mechanischen Abnutzung unterliegen (Bodenbeläge, Tischplatten), und solchen, die nur Witterungseinflüssen ausgesetzt sind (Fassadenverkleidungen, Mauersteine, Denkmäler), unterschieden werden.

Bei Bodenbelägen aus reinen Marmorgesteinen besteht keine Aussicht, dass die Fleckenbildung in absehbarer Zeit aufhört. Diese Gesteine sind wenig verschleissfest und nützen sich relativ rasch ab. Dadurch gelangen aber weitere Pyritkörnchen aus dem geschützten inneren Bereich des Gesteins an dessen Oberfläche, und der Oxidationsprozess kann dann von neuem beginnen. Auch das Nachschleifen oder Nachpolieren der gefleckten Oberflächen hat in solchen Fällen nicht viel Sinn.

Bei härteren, quarzreichen Marmoren, Quarziten und Silikatgesteinen geht die Fleckenbildung viel langsamer vor sich und hört mit der Zeit allmählich auf; bei diesen Materialien kann frühestens nach 5 bis 6 Jahren versucht werden, durch leichtes Nachschleifen der Oberflächen die Verfärbung zu entfernen.

Bei den Fassadenplatten, Mauer- und Sockelsteinen sowie bei Denkmalsteinen, welche lediglich den Witterungsfaktoren ausgesetzt sind und nicht auf Reibung beansprucht werden, kommt die Fleckenbildung ebenfalls zum Stillstand, und zwar bei Marmorgesteinen je nach Porosität etwa innert zwei bis drei Jahren, bei Quarziten und Silikatgesteinen meist viel später.

Marmorplatten werden am einfachsten durch sorgfältiges, nur leichtes, «eisenfreies» Nachschleifen oder Nachpolieren gereinigt. Die Oberflächenschicht, welche dabei entfernt wird, darf nicht zu dick sein, denn sonst würden wiederum Pyritkörnchen aus der Tiefe freigelegt. Eine vollständige Entfernung der Flecken ist aus diesem Grunde nicht möglich, denn in der näheren Umgebung von Pyritanhäufungen dringt der Limonit durch die Wirkung der potenzierten Verwitterung ziemlich tief in das Gestein ein. Würde man versuchen, auch diese Farbzentren zu entfernen, so müsste man eine viel zu dicke Oberflächenschicht abtragen und würde dabei andere, tieferliegende Pyritkristalle freilegen.

Graustreifige Carrara-Marmore können nur sehr schwer oder überhaupt nicht gereinigt werden. Die grauen, etwas dolomitischen Streifen sind wesentlich durchlässiger als das übrige Gestein und weisen zudem sehr oft Pyritanhäufungen auf; die Eisenhydratlösungen können hier deshalb viel tiefer eindringen.

Wichtige Voraussetzung für eine einigermaßen erfolgreiche Reinigung ist, dass damit nicht zu früh begonnen wird, nämlich nicht, bevor die Fleckenbildung aufgehört hat. Bei Marmorsteinen darf frühestens nach drei Jahren nachgeschliffen werden. Kleinere Flächen lassen unter Umständen eine regelmässige periodische Reinigung durch Nachschleifen wohl zu, doch kann eine solche Lösung auf die Dauer nicht befriedigen.

Nasse Reinigung mit Säurelösungen ist zumindest bei Karbonatgesteinen sehr schwierig, weil die gewaschenen Gesteine anschliessend mit sehr viel Wasser ausgespült werden müssen. Wird dies nicht getan, so bleiben die dabei gebildeten Eisensalze zusammen mit den Calciumverbindungen im Gestein und oxidieren innert kürzester Zeit wieder. Erfahrungsgemäss eignen sich für eine solche chemische Reinigung am besten Säuregemische mit Phosphorsäure, welche nach der Behandlung mit Ammoniak neutralisiert werden.

Auch eine natürliche Reinigung dieser Bauobjekte durch Regenwasser ist möglich, doch geht diese meist sehr langsam vor sich. Marmore werden im Freien in allen Fällen durch eine schwache oberflächliche Lösung der Karbonate rau und matt und bilden eine Unterlage, an welcher die Staub- und Russablagerungen gut haften. Mit der Zeit wird die rostbraune Verfärbung einerseits langsam ausgewaschen und andererseits durch andere Verunreinigungen überlagert, so dass sie nach spätestens 10 Jahren kaum noch als solche auffällt.

Nester oder andere örtliche Eisensulfidanhäufungen in Silikatgesteinen (Gneisen, Graniten) können nur durch Herausmeisseln und anschliessende Ausbesserung des entstandenen Loches eliminiert werden.

Bild 12. Starke Verfärbungen an einem Grabstein aus Carrara-Marmor



Zur Vermeidung von Fleckenbildungen gibt es zurzeit noch keine andere Lösung als der Verzicht auf die Verwendung von Gesteinsmaterialien, die wesentliche Mengen an Eisensulfidmineralien enthalten. Hierzu ist eine vorgängige, sorgfältige petrographische Untersuchung und die anschliessende Beurteilung der Farbbeständigkeit der Gesteine durch den Fachmann notwendig. Sind sulfidhaltige Gesteine bereits eingebaut worden, so kann die Verfärbung nur selten mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln aufgehalten werden. Die Bedeckung der Plattenoberflächen mit hartem Sieglack oder mit Kunstharz ist teuer und beeinträchtigt im allgemeinen das natürliche Aussehen der Gesteinsmaterialien. Ausserdem führt die Abschliessung der Oberflächenporen und die dadurch bedingte Verhinderung der Wasserverdunstung erfahrungsgemäss zu einer unter Umständen verhängnisvollen Steigerung der Frostempfindlichkeit der Gesteine.

Die aus der vorerwähnten oxidationshemmenden Wirkung der Alkali- und Calciumhydroxide sich ergebende Folgerung, dass eine Imprägnierung mit solchen Lösungen Gesteine gegen die Eisensulfidzerersetzung schützen könnte, erweist sich bei näherer Betrachtung als sinnlos. Alkalihydroxide können Ausblühungen verursachen, während das Calciumhydroxid durch Karbonatisierung an der Luft unwirksam wird.

Dekorationssteine, welche im Inneren von Gebäuden oder sonst an feuchtigkeitsgeschützten Stellen Verwendung finden und stets trocken bleiben, verwittern nicht und können deshalb auch bei merklichem Pyritgehalt zugelassen werden.

7. Schlussbetrachtungen

Eisensulfidmineralien, allen voran der Pyrit, sind derart weit verbreitete akzessorische Bestandteile natürlicher Gesteine, dass sie dem Baufachmann sehr oft unliebsame Überraschungen bereiten können. Die gelben bis rostbraunen Verfärbungen, die aus deren Zersetzung und der anschliessenden Oxidation des Eisens entstehen, sind umso auffälliger, je heller das Gestein ist. Daraus schliessen zu wollen, dass alle sulfidhaltigen Gesteine für Bauzwecke ungeeignet wären,

müsste jedoch vom wirtschaftlichen Standpunkt aus als unvernünftig gelten. Leichte bis deutliche bräunliche Verfärbungen werden, vor allem wenn sie gleichmässig verteilt sind, meistens nicht als störend empfunden. Sie gehören zur natürlichen Alterung der Steine und dürfen ohne weiteres als *Gesteinspatina* bewertet werden. Beanstandungen solcher natürlicher Patinabildung müssen insbesondere in Grosstadt- und Industriegebieten als überspitzt taxiert werden, weil dort die beträchtlichen Staub-, Rauch- und Gasmissionen das Aussehen der Bauobjekte weit intensiver schädigen.

Der Gesteinslieferant wäre gut beraten, in jenen Fällen, da er weiss, dass ein Gestein kleine Mengen von Pyrit enthält, den Verbraucher auf die natürliche Eigenschaft des Gesteins, bräunlich zu werden, aufmerksam zu machen. Viele Missverständnisse würden damit vermieden. Andererseits müssen grössere Pyritanreicherungen, vor allem in hellen Natursteinen und die von ihnen verursachten intensiven, unregelmässig verteilten Fleckenbildungen, nicht hingegenommen werden. Da die Behebung solcher Verfärbungen sehr schwierig und kostspielig, in vielen Fällen überhaupt nicht möglich ist, sollte stets eine vorsorgliche Untersuchung der Gesteine vor dem Einbau vorgenommen werden, um dem Lieferant und dem Unternehmer viel Ärger und Kosten zu ersparen.

Adresse des Verfassers: Dr. Jacques Weber, Petrograph, EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

Literaturnachweis

- [1] *de Quervain, F.* und *Gschwind M.*: Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. Kümmerly & Frey, Bern 1949.
- [2] *de Quervain, F.*: Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz, Teil I. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, 23. Lieferung, Bern 1945.
- [3] *Niggli, P.*: Gesteine und Minerallagerstätten, Band II. Birkhäuser, Basel 1952.
- [4] *Karsten, R.*: Bauchemie. Technik Verlagsgesellschaft, Heidelberg 1960.

Holzschutz als Aufgabe des projektierenden Baufachmannes

DK 691.11.004.4

Von Prof. H. Kühne, Abteilungsvorsteher an der EMPA, Dübendorf¹⁾

Einleitung

Jedes Baumaterial ist unter der Vielfalt der äusseren Einflüsse und Beanspruchungen mehr oder weniger starken Veränderungen ausgesetzt. Dies gilt auch für das Holz und die Holzwerkstoffe. Diese Veränderungen können in unscheinbarer Langsamkeit und harmlos verlaufen. Sie können aber auch innert sehr kurzer Frist die technische Funktionstüchtigkeit des Materials oder seine ästhetische Wirkung in Frage stellen, wenn nicht durch besondere Massnahmen, nämlich den Holzschutz im allgemeinsten Sinne des Wortes, das Auftreten solcher vitaler Mängel verhindert wird.

Im nachfolgenden sollen ganz allgemein jene *vorbeugenden Massnahmen* erörtert werden, welche dazu geeignet sind, eine Abnahme der technischen Funktionstüchtigkeit, aber auch unliebsame Veränderungen des Aussehens im Rahmen des Möglichen und Vernünftigen hinten zu halten.

Grundsätzliches zum Holzschutz

Im Hinblick auf die organischen Werkstoffe Holz, Sperrholz, Holzfaser- und Holzspanplatten geht es in erster Linie um die weitgehende Unterbindung schädlicher Materialveränderungen, die unter folgenden Einwirkungen entstehen können: Befall durch holzverfärbende oder holzerstörende Pilze, Befall durch holzerstörende Insekten, Regen, hohe Luftfeuchtigkeit und Hagel, direkte Sonnenstrahlung, Wärme und Kälte, Schmutz, Staub und chemische Verunreinigungen der Luft.

Grundsätzlich sind immer drei Möglichkeiten in Erwägung zu ziehen, um solche Einflüsse praktisch unschädlich zu machen, nämlich durch:

¹⁾ Der Beitrag «Massnahmen des Holzschutzes» ist für das im Verlag Julius Hoffmann, Stuttgart, in Vorbereitung befindliche Gesamtwerk «Bauen mit Holz» verfasst worden. Dem Verleger danken wir für die freundliche Gewährung des Rechtes zum Vorabdruck. Nicht minder fühlen wir uns Prof. H. Kühne zu Dank verpflichtet dafür, dass er seinen Text noch mit instruktiven Illustrationen versehen hat. *Die Redaktion*

baulich-konstruktiven Holzschutz, d. h. Fernhaltung der schädlichen Einflüsse durch sinnvolle bauliche Disposition und Konstruktion;

Holzschutz durch Materialwahl, d. h. Einsatz widerstandsfähigerer oder weniger heikler Materialvarietäten (z. B. durch Wahl der Holz- oder Verleimungsart usw.) und ferner den

«*künstlichen*» *Holzschutz*, d. h. ganz allgemein durch Behandlung mit in oder auf das zu schützende Material gebrachte, chemische Schutzstoffe, Farben oder Lacke.

Bis ins 19. Jahrhundert hinein ist man im wesentlichen mit den ersten beiden Massnahmen ausgekommen. Zahlreiche erhaltene Holzbauten, die z. T. noch bis ins späte Mittelalter zurückgehen, zeugen von der beachtlichen Wirksamkeit dieser Vorkehren.

Leider haben häufig übersetzte Versprechen des «künstlichen» Holzschutzes von den Möglichkeiten und Notwendigkeiten des baulich-konstruktiven Holzschutzes und des Holzschutzes durch Materialwahl abgelenkt. Der «künstliche» Holzschutz ist daher für das Holz im Hochbau in einem gewissen Grade zur Gefahr geworden. Ausserdem kommt es leider häufig vor, dass der künstliche Holzschutz unsachgemäss angewandt wird. Die ausserordentlichen Verdienste, welche dem künstlichen Holzschutz u. a. besonders für im Freien und im Erdreich verbautes Holz, wie auch für die Massnahmen gegen den Hausbock zukommen, mögen damit in keiner Weise geschmälert werden.

Der tiefere Sinn der weiteren Ausführungen soll daher darin liegen, besonders das Verständnis für den baulich-konstruktiven Holzschutz wieder zu wecken, neben der Klärung der Grenzen und Voraussetzungen, welche einem beschränkten Holzschutz durch Materialwahl und Anwendung chemischer Hilfsstoffe zum Erfolg verhelfen können.

Vorbeugende Massnahmen gegen das Auftreten holzverfärbender oder holzerstörender Pilze

Die auf dem Holz und seinen Abkömmlingen vorkommenden Pilze lassen zwei Hauptgruppen erkennen: