



Prof. Oskar Emmenegger, CH-7205 Zizers (Vortrag)

Höhlen- und Felsenmalereien

Wandmalerei ist, was die Verwitterung betrifft, ein Spezialfall in der Gruppe steinartiger Stoffe. Sie darf aber trotzdem nicht einzeln, sondern muss im Zusammenhang mit dem Bildträger Verputz, Mauerwerk oder einer Felswand beurteilt werden.

Bei der Verwitterung unterscheiden wir zwischen äusseren atmosphärischen Einwirkungen und inneren Einflüssen, den Materialeigenschaften. Die äusseren Einflüsse (Witterung) richten sich nach den örtlichen Gegebenheiten und sind daher verschieden.

Die Eigenschaften der einzelnen Materialien sind für das unterschiedliche Verhalten bei Verwitterung verantwortlich. Unbeständige Materialien sind beim Verwittern sehr leicht verletzbar. Farbpigmente, Putz, Mauerwerk und Felswände verwittern an der Oberfläche, also an dem der Atmosphäre ausgesetzten Teil.

Wir unterscheiden zwischen drei verschiedenen Verwitterungsarten:

1. Die **mechanische**,
2. Die **chemische** und
3. Die **biologische Verwitterung**

Bei der mechanischen Verwitterung sind Vorgänge wie Temperaturverwitterung, Frost- und Salzsprengung oder Wurzelsprengung für die Zerstörung von Bildträger, Verputz und Malschicht verantwortlich. Beim Zerfall ohne chemische Umwandlung werden die Steinoberfläche und Verputze in Bruchstücke und Einzelminerale zerkleinert. Der mineralische Bildträger wird abgesprengt, Putze sanden aus und Farbanstriche pudern ab oder werden abgestossen.

Bei der Temperaturverwitterung dehnen sich beim Erwärmen die Mineralien aus und ziehen sich beim Abkühlen wieder zusammen. Durch wiederholtes Ausdehnen und Schrumpfen kann der Mineralienverband im Stein und Verputz, sowie bei speziell wärmeaufnehmenden Pigmenten wie gelb, rot, braun und schwarz gelockert werden, so dass diese zu Sand respektive zu Farbpulver zerfallen. Die oberste Schicht des Steins oder des Mörtels dehnt sich beim Erwärmen, während sich die tiefer liegende Schicht nicht oder kaum verändert, da sie weniger erwärmt wird. Es kommt zu Absprengungen von Schalen und Platten am Bildträger und der Malschicht.

Frostsprengungen

Wenn Wasser gefriert, dehnt es sich bis zirka 9% aus, wobei ein Druck bis zirka 2000 Kilogramm auf einen cm^2 erreicht wird. Gefriert das Wasser in den bis 90% gefüllten Hohlräumen und Poren von Gestein und Putz, kommt es zur Frostsprengung.



Bei Frost ist nicht die erreichte Tiefe der Temperatur für die Schäden massgebend, sondern die Häufigkeit der Frostwechsel. Die Schäden sind grösser bei Auf- und Abtemperaturen um 0° Celsius als bei anhaltenden Kälteperioden.

Besonders gefährdete Teile eines Bauwerkes und somit die in diesem Bereich vorkommenden Malereien sind:

- Bauteile im Bereich der Grundfeuchte.
- Bereiche mit stehendem Wasser wie Gesimse und Fensterbänke.
- Schneeschmelzwasser an Bereichen die nach Osten und Süden gerichtet sind.
- Alle Zonen, die sich schnell abkühlen können.
- Bereiche bei defekten Dachrinnen und Abfallrohre, Dächer, Risse u.s.w.

Salzsprengung

Sie entsteht ähnlich wie die Frostsprengung. Salze kristallisieren in Poren und Hohlräumen von Steinen und Verputz. Es entsteht Druck auf die Wände der Hohlräume beim Kristallisieren der Salze oder durch ausdehnen der Salze bei der Wasseraufnahme.

Es gibt drei Arten von Salzsprengungen:

- Durch Kristallindruck beim Kristallisieren in Poren und Hohlräumen.
- Durch Volumenvergrösserungen bei der Umkristallisation unter Wasseraufnahme. Es ist die gefährlichste Art von Salzsprengung.
- Kristalle, die auf porösem Untergrund wachsen, können Putz und Malpartikel abheben.

Die häufigsten bekannten Salze im Bildträger und der Malerei sind:

Sulfate: Natrium-, Calcium-, Magnesium- und Kaliumsulfat.

Nitrate: Natrium-, Calcium-, Magnesium- und Ammoniumnitrat.

Chloride: Natriumchlorid (Kochsalz), Kaliumchlorid.

Karbonate: Natriumkarbonat. Es ist meistens im Zusammenhang mit alkalischen Baustoffen wie Zement und Kaliwasserglass zu finden.

Finden sich Salze an der Bild-, Putz- oder Steinoberfläche, spricht man von Salzausblühungen. Dabei werden Putz, Stein oder Farben durch Absanden zerstört. Finden sich Salze unter der Oberfläche des Bildträgers oder der Malschicht entstehen Schalenbildungen.



Wo kommen Salze vor ?

Sie lagern sich immer dort ab, wo Wasser verdunstet, an der Grenze nass/trocken. Sie sind besonders dort konzentriert vorhanden, wo das Wasser nach Niederschlägen am längsten zurückbleibt.

- Im Bereich der Grundfeuchte.
- Unter Mauer- oder Felsvorsprüngen.
- Seitlich von undichten Wasserabläufen.
- Über dichten Sockeln aus Stein oder Zementputz.
- Überall wo Wasser eindringt.

Woher stammen die leichtlöslichen Salze ?

- Von der Grundfeuchte mit Salzen, die im Boden in Lösung sind.
- Aus Gestein und Mörtel selbst, wo sie in Spuren vorhanden sind und sich dann an bestimmten Stellen konzentrieren können.
- Aus der Luftverschmutzung durch Reaktionen der Schadstoffe mit den Gesteinen, Mörteln und Farben.
- Von Streusalzen, die im Winter oft in grossen Mengen verwendet werden.
- Von Zementmörteln: Portlandzement enthält bis zu 50% lösliche Alkalien die zu Salzausblühungen führen.
- Von Reinigungsmitteln die oft leichtlösliche Salze oder Stoffe, die zu solchen führen, enthalten.

Weitere mechanische Einwirkungen

Bestimmte Materialien, als Zuschlagstoff in der Mörtelmischung verwendet, können quellen bei Wasseraufnahme und schwinden bei Wasserabgabe, zum Beispiel Pflanzenfasern, Tongallen, Pyrit in Verputz und Mauersteinen und Mergeleinschlüsse in Kalksteinen. Beim Quellen übertragen diese Materialien Druck auf die Umgebung wobei Risse oder Absprengungen entstehen.

Chemische Verwitterung

Die chemische Verwitterung unterscheidet sich von der mechanischen dadurch, dass die Mineralien von Stein und Verputz selbst angegriffen und chemisch umgewandelt, beziehungsweise aufgelöst werden.



Bei der Lösungsverwitterung vermag Wasser bestimmte Mineralien zu lösen, so zum Beispiel in geringem Masse auch Kalk, vorallem wenn Kohlensäure im Wasser ist. Dabei entstehen Höhlen und Kavernen.

Die Löslichkeit von Kalk und Gips in Gramm pro Liter ergibt bei 20° Celsius

bei Kalk in kohlensäurefreiem Wasser	0,014g/l
bei Kalk in kohlensäurereichem Wasser	1,090g/l
bei Gips	2,040g/l

Chemische Wirkung des Wasser mit Verbrennungsgasen:

Der grösste Anteil der Luftverschmutzung stammt von Verbrennungsgasen aus Verkehr, Industrie und Heizungen. Verschmutzte Luft enthält vorallem die Schadstoffe Schwefeldioxid SO₂, Chlor Cl und Fluor F. In der Luft führt Schwefeldioxid zu Schwefelsäure und Sulfate, Chlor zu Salzsäure und Fluor zu Flussäure. Diese Säuren werden durch den Regen auf Stein, Putz und Malflächen abgelagert. Sie lösen den Kalk, das Bindemittel von Steinen, Verputz, Fresko und Kalkmalereien an und bewirken so Schäden. Besonders schwerwiegend ist die Wirkung von Schwefeldioxid SO₂, es trägt zur Bildung von leichtlöslichen Salzen bei.

Biologische Verwitterung

Biologische Verwitterung nennt man den Zerfall von Stein, Mörtel oder Malerei durch Pflanzen und Tiere. Höhere Pflanzen treiben ihre Wurzeln oder Arme in Spalten und Risse von Felsen und Mauerwerk und zwischen Putzschichten. Unter günstigen Bedingungen setzen sich Flechten in Rissen und Putzabsprengungen an oder überwachsen Stein- und Putzoberflächen. Sie können in einer Tiefe von 2 mm bei entsprechender Feuchte Stein und Putz entmineralisieren. Auf der intakten Putz- oder Maleroberfläche bilden Flechten Calciumoxalat. Dieses liegt als harte Schale auf Stein, Mörtel und Malschichten. Sie platzen bei entsprechenden grossen Flächen von der weicheren Unterlage ab. Oxalate sind die Salze der organischen Oxalsäure.

Auch Pilze verursachen Schäden an Malereien durch Verfärbung der Farben und Anlösen der Farben und Bindemittel von Steinen, Verputz, Wandmalerei.

Algen wachsen 2 bis 3 mm tief in Stein und Putz. Dies entspricht der Eindringtiefe des Lichtes. Das Wachstum der Algen ist abhängig von Licht und Feuchtigkeit. Hierzu genügt auch das Licht von Lampen, wenn es in der entsprechenden Wellenlänge strahlt. Glühbirnen mit 40 bis 60 Watt genügen bereits. Oft werden Kirchen Nachts mit Flutlichtanlagen beleuchtet. Begünstigt durch die grössere Luftfeuchtigkeit während der Nachtzeit wuchsen an diesen Kirchen plötzlich Algen.

Bakterien sind in der Lage mit Säuren Gestein, Verputz und somit auch Wandmalerei zu zersetzen. Biologischer Befall ist nur möglich wenn die Lebensbedingungen, die nötige Feuchtigkeit und der richtige Nährboden gegeben ist.



Einflüsse unter Mitwirkung des Wassers

Ausser der Temperaturverwitterung ist Wasser für die meisten Schäden an Natur- und Baudenkmäler mitverantwortlich:

- Als Sprengmittel bei Frost.
- Als Quellmittel für Tonmineralien, organische Zuschlagstoffe im Putz und Bindemittel der Farben.
- Als Sprengmittel bei Eisenhydroxid (Rost).
- Als Transportmittel für Salze
- Als günstige Voraussetzung für das Wachstum von Pflanzen, Algen, Flechten, Pilze, Bakterien, Milben u.s.w.
- Als mechanischer Schaden bei permanentem Tropfen mit Wasser.

Die Feuchtigkeit an Naturdenkmälern wie Höhlen, Felsvorsprüngen, Grotten kommt von unterirdischen Wasserläufen, ungünstigen Klimasituationen, an Bauten durch Baufeuchtigkeit, Niederschlagsfeuchtigkeit, Luft- und Kondensationsfeuchte.

Bei der Kondensation spielt die Luftfeuchtigkeit eine wichtige Rolle. Luft vermag eine bestimmte Menge an Wasserdampf aufnehmen. Je wärmer die Luft, desto mehr Wasserdampf. Ist die Luft gesättigt an Wasserdampf, dann hat sie bis zu 100% relative Luftfeuchtigkeit und kann bei entsprechender Temperatur nicht mehr Wasserdampf aufnehmen.

Die folgende Tabelle zeigt wieviel Gramm Wasser ein Kubikmeter Luft als Wasserdampf bei 100% iger relativer Luftfeuchtigkeit (Sättigung) enthält:

Temperatur	gr./m ³
30 ° C	30,3
20 ° C	17,3
10 ° C	9,4
0 ° C	4,8
-10 ° C	2,2
-20 ° C	0,85

Kühlt sich die gesättigte Luft zum Beispiel von 20° Celsius auf 0° Celsius ab, werden nach obiger Tabelle 12,5 g (17,3 bis 48) Wasser pro Kubikmeter Luft ausgeschieden.

Kommt warme feuchte Luft mit einer kühlen Fläche in Berührung kühlt sie sich in der Nähe der Oberfläche ab, das überschüssige Wasser kondensiert. Wasser kann auch im Innern einer



Stöcklistrasse · CH-7205 Zizers

Telefon 081 - 307 22 01
Telefax 081 - 307 22 51

Wand und Verputz kondensieren. Diffusiert feuchte Luft langsam durch die Poren eines Mörtel von der warmen Aussenseite in die tieferen, kühleren Zonen des Verputzes, kühlt sich die wärmere Aussenluft ab. Die Sättigungsgrenze von 100% wird überschritten und das Wasser kondensiert an einer bestimmten Stelle im Inneren des Mauerwerks.

Im Sommer entsteht Kondenswasser mehrheitlich an Aussenwänden und im Winter an Innenwänden.

Aus diesen Ausführungen sollte ersichtlich sein, dass die Verwitterung ein natürlicher nicht aufzuhaltenden Zerfallsprozess an Kunstwerken bewirkt, der trotz all den ausgeklügelten Überlegungen und Massnahmen nicht aufzuhalten ist. Durch zurückhaltende und gezielte Sanierungsmassnahmen im Umfeld der Malerei und dessen Träger lässt sich der Zerfall hingegen verzögern. Unsachmässige Sanierungs- und Konservierungsmassnahmen hingegen beschleunigen den Zerfall von Kunstwerken.

Copyright © 1998 Prof. Oskar Emmenegger and Oskar Emmenegger & Söhne AG.
All rights reserved.