

Zeitschrift: Heimatschutz = Patrimoine

Herausgeber: Schweizer Heimatschutz

Band: 82 (1987)

Heft: 1

Artikel: Von innen und aussen angefressen : wachsende Schäden an unseren Kulturgütern

Autor: Arnold, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-175287>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Luftverschmutzung ist heute an vielen Orten die dominierende Schadenursache im komplizierten Verwitterungsgeschehen. Sie wirkt direkt an der Materialoberfläche und indirekt über Folgeprodukte im Innern von porösen Stoffen. Kurzfristige Durchbrüche zur Problemlösung sind nicht zu erwarten. Wir stehen vor einer langfristigen Aufgabe.

Die Luftverschmutzung ätzt, zerfrisst und zersprengt Steine, Mörtel, Farben, Metalle, Glas und andere Materialien. Das tut sie nicht nur an der Akropolis, am Kölner Dom, am Kolosseum oder an einem anderen berühmten Denkmal, sondern an unserer gesamten gebauten Umwelt. Das wissen eigentlich alle. Jene, denen das Thema nicht – wie beim Waldsterben – schon zum Halse heraushängt, fragen, ob man denn ein *Mittel* gegen den Angriff der Luftverschmutzung gefunden hätte. Man nimmt also das Problem wahr, man hat sich damit abgefunden

den oder man wartet auf das von Spezialisten in Wissenschaft und Technik zu erfindende Gegenmittel.

Forschungsprogramme

Die Öffentlichkeit reagiert mit einigen *Forschungsprogrammen*. In der Schweiz läuft das Nationale Forschungsprogramm 16, das mit 9,6 Millionen Franken in fünf Jahren «Methoden zur Erhaltung von Kulturgütern» auf breiter Basis erforscht. In der Bundesrepublik Deutschland stellt das Ministerium für Forschung und Technologie ebenfalls für fünf Jahre rund 100 Millionen Mark frei für die «Forschung und Entwicklung zur baulichen Substanzerhaltung und Denkmalpflege». Bescheidener, ebenfalls befristete Programme laufen bei der Europäischen Gemeinschaft und in deren Mitgliedsländern. An vielen Forschungsinstituten der Welt untersucht man, meist nebenbei, die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Materialien. Auch die Industrie strengt sich seit einigen Jahrzehnten an, Schutzmittel gegen die aggressive Luft und den sauren Regen zu produzieren und zu vermarkten. Das Problem ist also bekannt, und es tut sich etwas, um es mit Forschung und Technik zu lösen. Man weiss bei der Forschung, dass es nicht um Forschungsergebnisse an sich, sondern um die *praktische und materielle Erhaltung der kulturellen Umwelt* geht. Die wissenschaftlichen Methoden und deren praktischen Ergebnisse müssen sich deshalb an der Wirklichkeit der betroffenen Objekte orientieren und messen. Es geht dabei unter anderem um folgende Fragen: Welche Objekte und Materialien sind betrof-

Steinzerfall – ein komplexer Prozess, der durch Schadstoffe an der Materialoberfläche und von innen her ausgelöst wird (Bild Stähli).

Destruction de la pierre – un processus complexe dû à une corrosion extérieure en même temps qu'à une action interne.

Rongés à l'extérieur et à l'intérieur

La pollution de l'air corrode et désagrège la pierre, le mortier, les vernis, les métaux, le verre et autres matériaux. Cela n'arrive pas seulement à l'Acropole ou au Colisée, mais à tous les édifices, et chacun s'en rend compte aujourd'hui.

Dans divers pays, on a mis sur pied des programmes d'étude; la Suisse y consacre 9,6 millions de francs pour 5 ans, dans le cadre du Programme national de recherche N° 16 sur les «méthodes de conservation des biens culturels».

La dégradation physico-chimique des matériaux sous les effets des variations de température, des intempéries, des sels, des acides et des gaz, est vieille comme le monde. On découvre maintenant que s'y ajoute un phénomène biologique. Enfin il y a les interventions humaines, dont certaines sont anciennes (sel, salpêtre), mais qui se manifestent surtout depuis le siècle dernier. Il y a en particulier de nouveaux matériaux de construction, tels le ciment Portland ou les silicates de potasse, qui, employés inopportunément, peuvent endommager les bâtiments anciens (par la formation de sels chimiques) autant que la pollution de l'air.

Cette dernière, déjà décelée au XVIII^e siècle, a très fortement augmenté depuis l'industrialisation, et dans l'ensemble, malgré certaines diminutions (charbon), ne cesse de s'aggraver. Les substances nocives sont surtout les composés du soufre, de l'azote et du chlore, sous forme de gaz, d'acides et de sels. Ils agissent soit en dépôts secs, soit avec la pluie. Bien que leur combinaison avec les processus chimiques, physiques et biologiques soit très complexe, il est possible de déterminer scientifiquement leurs effets spécifiques et de les reproduire en laboratoire. On distingue deux actions différentes: une corrosion directement proportionnelle à la quantité des polluants, qui

Wachsende Schäden an unsern Kulturgütern

**Von innen
und aussen
angefressen**



s'accentue «linéairement» par réactions chimiques à la surface; et une corrosion *interne*, provoquée dans les matières poreuses par des produits dérivés des polluants atmosphériques. Comme il n'y a pas de régénération biologique, il est impossible de fixer un «seuil» tolérable de dégradation. On ne peut réagir qu'en réduisant ou supprimant les polluants, et en rendant les matériaux plus résistants. Il est évident que nos biens culturels ne pourront être sauvés que si les substances polluantes sont largement éliminées. Mais cela même ne suffira pas, car des modifications structurelles se sont produites: par exemple, il y a les produits nocifs dérivés qui ne peuvent pas être extraits des matériaux utilisés. Les interventions indispensables sont donc loin d'être simples.

Nous sommes en présence d'une transformation durable de tout notre environnement, d'une évolution historique à laquelle nous ne pouvons échapper – comme d'ailleurs dans d'autres secteurs de l'environnement. Il est donc inconcevable de combattre la pollution humaine par des programmes de recherche et d'intervention à courte échéance. Il s'agit à la fois de développer les méthodes de réduction des pollutions à la source, de poursuivre la recherche sur les causes du mal, et d'adapter les mesures de protection. Le contrôle des effets obtenus, tant à brève qu'à longue échéance, est devenu une tâche permanente, qui doit se répercuter sur l'évolution et le perfectionnement des méthodes.

La question de savoir si et dans quelle mesure on est disposé à créer, pour cette importante tâche écologique, culturelle et économique, des organisations durables de recherche et d'entretien, dépend finalement de la valeur que les gens attribuent, sur le plan culturel et économique, à leur environnement architectural.

fen? Wie zerfallen sie wirklich? Was bewirkt die Luftverschmutzung im Zerfallsgeschehen? Welche Möglichkeiten bestehen, darauf zu reagieren? Wie können die Erfolge von konservierenden Massnahmen beobachtet und gewertet werden?

Verwitterung

Die Schäden an Bau- und Kunstwerken entstehen durch menschliche Eingriffe und durch *Verwitterung*, das heisst durch Veränderung und Zerfall als Folge von Einwirkungen der Witterung beziehungsweise der Atmosphäre. Alle der Atmosphäre direkt oder indirekt ausgesetzten Materialien verwittern mehr oder weniger rasch. Solche Materialien aus unserer kulturellen Umwelt sind: Steine, Mörtel, Beton, Glas, Metalle, Textilien, Leder, Papier, Kunststoffe und die daraus hergestellten Gegenstände wie Bauwerke, Installationen, Gebrauchsgegenstände, Kunstwerke, aber auch Apparaturen und Maschinen. Es geht um Bau- und Kunstwerke, gewiss aber auch um die gesamte vom Menschen geschaffene Umwelt. Die Folgeschäden sind deshalb nicht nur kulturell, sondern auch ökonomisch gross. *Chemisch-physikalische Verwitterung* auf Grund von Temperaturwechseln, Wasser, Wind, Salzen, chemisch aggressiven Säuren und Gasen und anderem gibt es, seit es eine Witterung gibt, also seit Jahrtausenden. Zusammen mit der Erosion gestaltete die Verwitterung die Erdoberfläche und schuf beispielsweise mit den salzhaltigen Wässern und den Böden Voraussetzungen zum Leben. Mit den Lebewesen kamen auch biologische Gesteinsbildungs- und Verwitterungsvorgänge ins Spiel: es begann damit die heute erst allmählich in ihrer Bedeutung erkannte *biologische Verwitterung*. Als kulturfähiges Wesen hat der Mensch seit seinem Auftritt Gegenstände, Bauwerke und Kunst geschaffen. Wie er sie gebaut hat, begann er sie auch zu zerstören. Zur chemisch-physikalischen und

biologischen gesellte sich nun, alles komplizierend, die durch den Menschen bewirkte oder beeinflusste *anthropogene Verwitterung*. Der Mensch verändert und zerstört seine Werke direkt oder er beeinflusst die Verwitterung indirekt. Seit jeher hat er Kochsalz verzehrt und in seiner Umgebung ausgeschieden, oder über seine Abfälle Salpeter entstehen lassen; beides effizient zerstörende Salze. Seit dem 19. Jh. produziert er neue Baustoffe in grossen Mengen. Darunter auch solche wie Portlandzement und Wasserglasprodukte, die falsch eingesetzt alte Bauwerke durch Salze schädigen; an manchen Orten in einem zur Luftverschmutzung vergleichbaren Masse.

Ursachen/Wirkungen

Die schon im Mittelalter bekannte, in der Wirkung im 18. Jahrhundert sicher erkannte *Luftverschmutzung* verstärkte sich mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert drastisch und vervielfachte die bisher aktiven Verwitterungsfaktoren. Wenn auch einzelne Komponenten der Luftverschmutzung in den letzten Jahren und Jahrzehnten abnahmen, so hat doch die *Gesamtbelastung* bis heute stets zugenommen. Heute ist sie in vielen städtischen und industrialisierten Gebieten zur dominierenden Schadenursache geworden. Darin vorhandene *Schadstoffe* sind vor allem: Schwefelverbindungen (Schwefeldioxid, Schwefelsäure, Sulfatsalze), Stickstoffverbindungen (Stickoxide, Salpetersäure, Nitrat- und Ammoniumsalze), Chlorverbindungen (Salzsäure, Chloride), Kohlenwasserstoffe und andere mehr. Sie fallen an als *Gase*, als *Säuren* und *Salze* in Regentropfen oder als feinverteilte flüssige und feste Partikel, sogenannte Aerosole. Von ihren Quellen – zum Beispiel den Heizungen, Industrie- und Verkehrsanlagen, und der Landwirtschaft – werden sie emittiert, durch die Luft in Nah- und Fernbereiche transportiert und kommen als Immissionen am Ort ihrer Wir-

kung an, wo sie schliesslich als saure Deposition im Regen und als trockene Deposition in Form von Gasen und Aerosolen auf die Materialien abgelagert werden. Die Immissionen aus der Luft wirken hinein in ein bereits aktives Verwitterungsgeschehen, in welchem chemische, physikalische und biologische Vorgänge vielfältig zusammenspielen. Das erschwert den Nachweis ursächlicher Zusammenhänge. Dennoch ist es möglich, spezifische *Wirkungen* der Luftverschmutzung recht genau zu verfolgen, wenn man die wirklichen Immissionen kennt, die Schäden genau beobachtet und einzelne Vorgänge im Labor reproduziert.

Als Beispiel diene die auch heute noch bekannteste und zu Recht als wichtigste angesehene Wirkung der *Schwefelverbindungen* auf kalkführende Steine. Daran können auch folgende Abläufe verdeutlicht werden: Schwefeldioxid und Aerosole aus Schwefelsäure, Sulfatlösungen und Gipsstäube werden als trockene Deposition andauernd und überall auf die *Oberfläche* der Steine eines Bauwerks abgelagert. Sie ätzen die Oberfläche chemisch an und führen zu schwarzen Belägen und Krusten (Gipskrusten). Die trockene Deposition wird unterbrochen durch die vergleichsweise sehr kurzen Perioden effektiven Regens. Der saure Regen löst die trocken abgelagerten Stoffe nur an den berechneten Oberflächen zusammen mit Kalk aus dem Stein auf. An dichten Oberflächen werden die gelösten Stoffe weggewaschen, an porösen Oberflächen hingegen können sie ins *Steininnere* gespült und dort angereichert werden. Deshalb beobachtet man an regengeschützten Bereichen schwarze, vom Regen nicht weggelöste Gipskrusten. An berechneten Bereichen ist die Steinoberfläche weggelöst und der Stein ist zurückgewittert. Die Ablagerung und die Auflösung sind proportional zur Belastung; sie hören auf, wenn die Schadstoffe nicht mehr auftreffen. Ganz anders wirken die in po-

röse Steine eingedrungenen *Salzlösungen*. Sie reichern sich dort dauernd an. Durch Salzsprengung führen sie von dort zum Abbröckeln oder Abschalen von Steinsubstanz. Die Schadenwirkung geht auch weiter, wenn keine neuen Schadstoffe mehr auftreffen. Es geht also um zwei verschiedene Wirkungsweisen, nämlich um die mit der Schadstoffbelastung proportionalen, «linear» fortschreitenden Schäden durch chemische Reaktion an der Oberfläche und um die kumulativen, «exponentiell» sich entwickelnden Schäden, verursacht durch Akkumulation von schadenaktiven Folgeprodukten der Luftverschmutzung im Innern poröser Stoffe. Immer deutlicher erscheint heute die Verknüpfung der Luftverschmutzung mit *biologischen Vorgängen*. Im Gegensatz zu biologischen Ökosystemen ist bei der Verwitterung keine natürliche Regeneration von Schädigungen möglich. Das bedeutet zusammen, dass man keine tolerierbaren *Belastungsgrenzwerte* definieren kann.

Systemveränderungen

Auf die hier nur angedeuteten Schädigungen kann man reagieren, indem man einerseits die Luftschadstoffe und andere vermeidbare, äussere Einwirkungen reduziert oder ausschaltet und indem man die betroffenen Materialien und Objekte widerstandsfähiger macht. Es ist klar, dass unsere Kulturgüter nur zu retten sind, wenn es gelingt, die Luftschadstoffe weitgehend zu eliminieren. Doch das allein würde schon heute nicht mehr genügen, weil mit den Belastungen auch *Systemveränderungen* eingetreten sind. So sind die schadenwirksamen Folgeprodukte nicht aus den Objekten zu entfernen; sie wirken dort auf unbestimmte Zeit weiter.

Die äusseren Einwirkungen der Verwitterung haben sich entwickelt, indem zu bestehenden immer wieder *neue Belastungen* komplizierend ins Spiel kamen. Entsprechend



«Leidensweg» einer umweltgeschädigten Steinplastik am Berner Münster. Oben: Zustand 1969; Mitte: 17 Jahre später; unten die Kopie 1987 (Bilder Stähli).

Le «calvaire» d'une sculpture de la cathédrale de Berne. De haut en bas: état de 1969; 17 ans plus tard; copie en 1987.

haben sich auch die Schadensprozesse verändert. Die betroffenen Objekte sind ihrerseits durch Alterung, Umbauten, Restaurierungen usw. dauernd Veränderungen unterworfen. Schliesslich entwickeln sich auch die Kenntnisse über die Verwitterung und damit auch die *Konservierungsmethoden* laufend. Wir stehen also vor dauernden System- und Umweltveränderungen, vor einer historischen Entwicklung, der wir uns, wie übrigens auch in anderen Bereichen der Umweltforschung und Ökologie, nicht mehr entziehen können, wenn wir das

Geschehen in seiner historischen Dimension verstehen wollen. Dieses Verständnis ist aber Voraussetzung für die Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Erhaltung. Daraus ergibt sich, dass man dem heute anthropogen stark beeinflussten Geschehen nicht mit kurzfristigen Forschungs- und Aktionsprogrammen adäquat begegnen kann. Es braucht dazu Institutionen, die den Veränderungen folgen können, die also *auf Dauer* ausgelegt sind.

Was ist zu tun?

Die Luftschadstoffe lassen

sich kurzfristig nicht soweit reduzieren, dass sie unschädlich würden. Die Aussichten sind heute, im Zeitpunkt, da man Kernenergie durch Kohle ersetzen will, schlecht. Das ist aber kein Grund, das Ziel nicht trotzdem hartnäckig zu verfolgen. Dazu muss die Evidenz der Schädigung unter sich verändernden Bedingungen immer wieder wissenschaftlich geprüft werden. Gleichzeitig gilt es, die Methoden zur *Reduktion des Schadstoffausstosses* an der Quelle zu entwickeln und anzupassen. Auf dem Gebiet der *Verwitterungsforschung* muss den Schadenursachen im gesamten Wirkungsgefüge nachgegangen werden. Auf der Ebene der *Konservierung* müssen die Methoden ebenfalls den Veränderungen der Belastungen und Ursachen angepasst werden. Durchbrüche in der Erforschung sind in Anbetracht der Vielfalt der Objekte und der Komplexität des Zerfalls ebenfalls nicht zu erwarten. Konservierungsmethoden und -massnahmen sind nicht anders als an ihrem Erfolg zu messen. Die *Erfolgskontrolle*, das heisst die Erforschung der kurz- und langfristigen Auswirkungen der Erhaltungsmassnahmen, wird zur Daueraufgabe, die ständig auf die Entwicklung der Verbesserung der Methoden zurückwirkt. Wie man es auch betrachtet, kurzfristig sind von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen wohl unentbehrliche Anstösse und Richtungshinweise zu erwarten, nicht aber definitive Durchbrüche. Deshalb muss man sich mit der Bewältigung der Probleme wohl oder übel auf Dauer einstellen. Ob und wie weit die Öffentlichkeit bereit ist, für diese ökologisch, kulturell und ökonomisch wichtige Aufgabe *Dauerinstitutionen* zur Forschung, Entwicklung und Pflege zu schaffen, hängt letztlich ab vom Wert, den die Menschen ihrer gebauten Umwelt beimessen.

Dr. A. Arnold
Institut für Denkmalpflege
ETH Zürich