

# Klimawandel: Wird es den historischen Bauten in Zukunft schlechter gehen? – Beispiele aus dem Alltag des Expert-Centers



Mehr Starkniederschlag – mehr Schäden?  
(Notre Dame, Paris /P. Storemyr)

Climate change, Klimaveränderung, Klimaerwärmung – fast täglich werden wir in den Medien, im Internet oder in der Fachliteratur mit diesen Begriffen konfrontiert. Die möglichen Auswirkungen der Klimaerwärmung, wie z.B. heftigere Stürme, vermehrter Starkniederschlag, Überschwemmungen, Erdbeben, Steinerschlag, Gletscherschwund, auftauender Permafrost, steigende Baumgrenzen, längere Trockenperioden, extreme Hitzeereignisse usw. sind längst seriöse Forschungsthemen. Und auch die Bau- und Versicherungsbranchen machen sich Sorgen, weil die Gefährdung für die moderne Infrastruktur, für den Tourismus und auch für die Menschen (vgl. die Hitzewelle 2003) zuzunehmen scheint. Ein Beispiel ist die kürzlich gegründete Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen.

## Klimaveränderung und Denkmalpflege

Klimaveränderung bildet derzeit auch in der Denkmalpflege ein Thema. Vor allem in Grossbritannien beschäftigen sich Projekte mit den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Kulturlandschaften und Gebäude. Bei Gebäuden steht die mögliche Zunahme von Stürmen, Starkniederschlag und Hochwasser (vgl. Mittel-Europa 2002) und das damit verbundene, theoretisch erhöhte Schadensrisiko im Vordergrund. Auch die EU zieht mit: Kürzlich wurde z.B. das Forschungsprojekt «Noah's Ark» vorgestellt, das darauf abzielt, historische Strukturen, welche durch Klimaänderung und Luftverschmutzung gefährdet sind, zu identifizieren und zu schützen. Auch ein Atlas über besonders gefährdete Regionen soll erstellt werden.

## «Feuchteschäden»

Es stellt sich die Frage, ob das zukünftige Klima tatsächlich so verheerende Folgen für historische Bauten haben wird, wie es einige Prognosen behaupten. Ohne über Ursachen (Treibhausgase, natürliche Variabilität) zu diskutieren steht fest, dass die durchschnittliche Temperatur im letzten Jahrhundert vor allem auf den nördlicheren und südlicheren Breitengraden deutlich gestiegen ist. Bisher sind die möglichen Auswirkungen dieser globalen Temperaturzunahme und deren klimatischen Folgen auf historische Bauten nur sehr begrenzt untersucht worden, und ein klarer Zusammenhang zwischen dem effektiven Klimawandel (z.B. heissere, trockenere Sommer und mildere, feuchtere Winter) und zunehmenden Schäden an Denkmälern konnte nicht hergestellt werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass z.B. eine Zunahme von Stürmen und Starkniederschlägen auch eine Zunahme von z.B. «Feuchteschäden» mit sich bringen wird.

«Feuchteschaden» ist ein Sammelbegriff, der viele Schadensursachen und -vorgänge – von chemischer Auflösung von Baumaterialien über Frost- und Salzverwitterung bis zu Schimmelpilzbildung – umfasst. Ein Klimawandel kann zweifellos zu einer Zunahme solcher Schäden führen (wie etwa die «Rauchgasschäden» durch  $SO_2$ -Emission im 19. und 20. Jahrhundert zugenommen hatten), gleichzeitig kann er aber in gewissen Regionen auch zu einer Abnahme von Schäden führen: Falls die Temperatur in bis jetzt frostgefährdeten Regionen nicht mehr unter den Gefrierpunkt sinkt, werden Frostschäden ausbleiben. Die möglichen Auswirkungen der Klimaerwärmung sind also sehr von der lokalen Situation abhängig. Und es wird noch komplexer, wenn der Mensch als zusätzlicher Faktor einen Finger mit im Spiel hat, wie dies die folgenden Beispiele aus dem Alltag des Expert-Centers zeigen. Hier geht es nicht um katastrophale Stürme und Jahrhunderthochwasser, sondern um weniger spektakuläre

diese, wie in Zell, einen Einfluss auf die beobachtete Entwicklung gehabt haben dürften. Ausserdem zeigen eine noch nicht abgeschlossene, detaillierte Analyse der Verwitterungsgeschichte seit dem 17. Jahrhundert und die Beobachtungen während der letzten zehn Jahre, dass das klimatische Ereignis des Sommers 2002 zwar speziell, jedoch nicht einzigartig ist. Die Analyse zeigt auch, dass die durchschnittliche relative Feuchte in Trondheim anders als in der Schweiz (Zürich) seit 1949 mit hoher Wahrscheinlichkeit generell gesunken ist, und dass dies insbesondere im Frühling und Sommer der Fall ist, etwa ähnlich wie in anderen nördlichen Regionen wie z.B. Kanada. Falls dieser Trend fort dauert, wird auch das Risiko für starke Salzkristallisation im Sommer nicht nur für die Wandmalereien des Erzbischofspalasts, sondern auch für andere historische Bauwerke im hohen Norden vermutlich ansteigen. Wie im Erzbischofspalast kann es in Zukunft sein, dass man in den trockensten Perioden nicht ohne künstliche Luftbefeuchtung auskommt.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass im Erzbischofspalast und Turmchor Zell die Beheizung der mittelalterlichen Räume zwischen den 1960er und 1980er Jahren so viele Schäden verursachte, dass die heutige Schimmelpilzbildung und Salzverwitterung fast harmlos erscheinen.

### Verputzschäden im Winter 2002–2003

Der Winter 2002–2003 war in der Schweiz zwar nicht aussergewöhnlich kalt, doch hatte man im Flachland, nach einem ausgeprägt feuchten Herbst, wegen Schnee und Minustemperaturen ab und zu das Gefühl von «guten alten Zeiten» gekriegt. Anfangs März wurde es jedoch plötzlich sehr mild, und die Luftfeuchtigkeit sank drastisch. Dies führte dazu, dass an vielen historischen Bauwerken neue und alte Putze herabfielen (z.B. Allenwindenturm der Museggmauer in Luzern; Kirche Zell; St. Karl, Hospental). Nun ist es nichts Neues, dass Putze, insbesondere solche, die im Vorjahr aufgetragen worden sind, im darauffolgenden Frühling wieder abfallen. Wenn nach einem feuchten Herbst oder feuchten Winterperioden Putze «einfrieren», können sie sich oft an den Fassaden halten, bis sie im Frühling auftauen und abfallen.

Dieses Beispiel hat mit Klimaveränderung direkt nichts zu tun. Es zeigt aber, dass auch «normale» Wetterextreme oft mit einer Häufung von speziellen Schäden verbunden sind. Falls in Zukunft bestimmte extreme Wetterereignisse zunehmen (z.B. sehr starker Winterregen gefolgt von einem Temperatursturz), ist es fast sicher, dass in diesen Gebieten auch Frostschäden vermehrt auftreten werden.

### Verwitterung in der «Kleinen Eiszeit»

Anhaltend tiefe Temperaturen über längere Perioden hinweg gab es seit der Kleinen Eiszeit (ca. 1400–1900) im mitteleuropäischen Tiefland kaum mehr. Während der Kleinen Eiszeit war die Temperatur durchschnittlich 1–2 Grad niedriger als heutzutage. Es lässt sich abschätzen, dass als Folge davon beispielsweise in Grossbritannien die Anzahl Frostereignisse per Winter fast das Doppelte betrug wie im 20. Jahrhundert.

Studien der Verwitterungsgeschichte von mittelalterlichen Bauwerken in Norwegen haben Hinweise dafür gegeben, dass Frostschäden in der Kleinen Eiszeit tatsächlich gravierend waren. Da diese Periode in Norwegen oft mit sozialen und wirtschaftlichen Problemen einherging, konnte der Wiederaufbau von Bauwerken nach einem Sturm, Brand oder kriegerischen Ereignissen oft nicht sofort durchgeführt werden, und viele Bauten wurden häufig über lange Zeit vernachlässigt (wenn sie nicht gleich als unmodern eingestuft wurden und in Trümmer fielen). Dementsprechend konnten Niederschläge und tiefe Temperaturen ihre Wirkung viel besser ausüben als bei Bauwerken, deren Unterhalt gut war.

Fazit: Die Verwitterungsspuren, die wir heute an vielen restaurierten Gebäuden und Ruinen beobachten können, sind Zeugen früherer Frostschäden, deren Ursachen jedoch meist eine Kombination von Wasser, tiefen Temperaturen und vernachlässigtem Unterhalt sind. Bei den mittelalterlichen Burgen in der Schweiz könnten die Verhältnisse ähnlich sein (was noch zu untersuchen ist).

### Eine gute Risikobeurteilung erfordert lange Beobachtungsperioden

Das Beispiel aus der Kleinen Eiszeit soll verdeutlichen, dass Frost damals zwar eine wichtige Rolle spielte, dass er aber selbstverständlich nicht als einzige Ursache des Zerfalls gelten kann. Denn es zeigt auch, wie eng der Zusammenhang (die «Rückkopplung») zwischen natürlichen und von Menschen «direkt» gemachten Schadenursachen ist und wie schwierig es deshalb meist ist, Schadenursachen zuverlässig zu deuten und gewichten.

Bis jetzt gibt es also keine schlüssigen Beweise dafür, dass die Schäden generell zunehmen, nur Indizien, Vermutungen und theoretische Überlegungen. Um das theoretisch erhöhte Schadenspotenzial für bestimmte Klimaszenarien und Schadensvorgänge in definierten Regionen beurteilen zu können, braucht es lange Beobachtungsperioden, lange Klimamessreihen und Rekonstruktionen der Verwitterung in früheren Zeiten, wie es in übrigen Bereichen der Klimaforschung heute üblich ist, beispielsweise

Ereignisse, die aber für die betroffenen Denkmäler nichtsdesto- trotz beachtliche Folgen mit sich brachten.

### Hitze und Schimmelpilze im Jahr 2003

Im Sommer 2003, der als der heisseste Sommer in Mittel-Europa seit 1540 in die Geschichte einging, breiteten sich an den mittelalterlichen Wandmalereien im Turmchor der Reformierten Kirche Zell im Zürcher Oberland explosionsartig Schimmelpilze aus. Mit grosser Wahrscheinlichkeit war es das erste Mal, dass sich so etwas in der Kirche ereignet hat, offenbar ein Resultat der sehr hohen Temperaturen und dem hohen Wasserdampfgehalt in der Aussen- und Innenluft. Ein klarer Fall, sollte man meinen – eine Auswirkung der Klimaerwärmung.

Die Kirche war aber 2002 und 2003 restauriert worden, und leider wurde die natürliche Lüftung im Turmchor 2002 durch unterschiedliche Massnahmen absichtlich reduziert, u.a. um Salzverwitterung zu vermeiden. Die Folgen der unzureichenden Lüftung waren im rekordwarmen Sommer 2003 offensichtlich katastrophal (die Lüftung wurde nach dem Ereignis sofort verbessert). Da uns vergleichbare Situationen fehlen, ist es derzeit unmöglich

zu beurteilen, wie viel Schimmelpilz sich in der gleichen Situation während eines «normalen» Sommers gebildet hätte, und ob sich im Extremsommer 2003 Schimmelpilz auch bei genügender Lüftung hätte bilden können. Wir können aber davon ausgehen, dass die extreme Hitze das Risiko für solche Schäden erhöht hat. Schlussfolgerung: Falls extreme Hitzeereignisse künftig zunehmen, muss man bei Restaurierungs- und Lüftungsmassnahmen besser aufpassen (was ja ohnehin gut wäre).

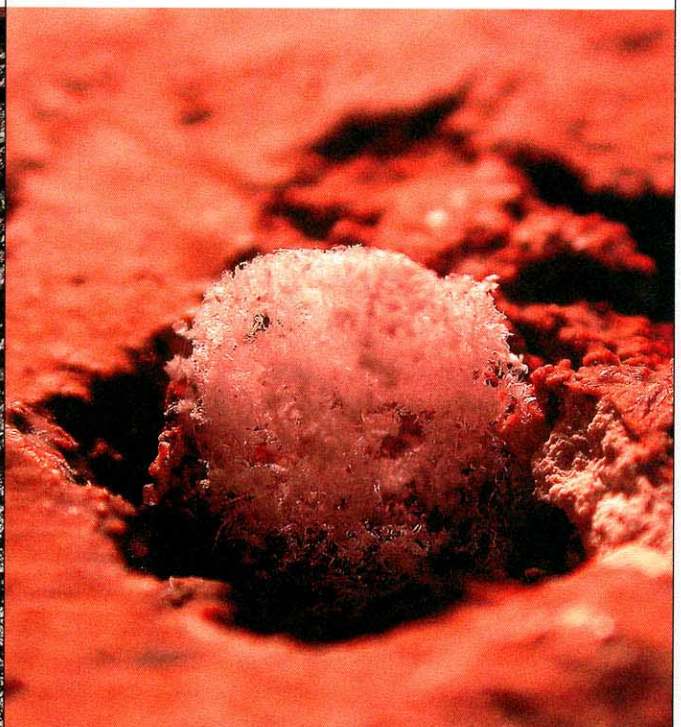
### Hitze und Salze im Jahr 2002

Der Sommer 2002 war in Trondheim (Norwegen) der heisseste seit 1701. Anders als in Zell war das Problem für die Wandmalereien im Erzbischofspalast der Stadt nicht die hohe Luftfeuchtigkeit, sondern Trockenheit. Es regnete während des Sommers zwar ab und zu, doch befand sich die relative Luftfeuchtigkeit auf dem niedrigsten Niveau seit dem Messbeginn im Jahr 1949. Als Folge davon wurde in den Monaten Juli und August sehr viel Salzkristallisation beobachtet, kombiniert mit den entsprechenden Folgeschäden.

Da auch im Erzbischofspalast kurz zuvor Konservierungsmassnahmen abgeschlossen worden waren, ist zu vermuten, dass



*Nimmt die Schimmelpilzbildung zu? Bildbreite ca. 15 cm (Reformierte Kirche Zell / P. Storemyr)*



*Werden Salze in Zukunft häufiger kristallisieren? Bildbreite ca. 1 cm (Kochsalz an Wandmalerei / P. Storemyr)*



*Eiszapfen – sind sie bald Geschichte?  
(Kathedrale, Trondheim /P. Storemyr)*

im benachbarten Fachbereich der Naturkatastrophenforschung. Weil uns die Forschungswerkzeuge auch für das Verständnis des gegenwärtigen Klimas und seiner (Verwitterungs)folgen noch manchmal fehlen, gibt es wohl keine andere Möglichkeit als zuerst diese Werkzeuge zu entwickeln sowie die Verwitterungsgeschichte von Einzelbauten und Gruppen von Denkmälern in relevanten Regionen aufzuarbeiten.

Ohne historische Vergleiche läuft man Gefahr zu übertreiben oder falsche Feststellungen abzugeben, so wie es manchmal in den 1980er Jahren zu Zeiten der Luftverschmutzung (die zur «Steinfresserei» hochstilisiert wurde) passiert ist – nicht selten im Namen der «political correctness». Natürlich war und ist Luftverschmutzung ein Problem für die Denkmalpflege. Doch eine realistische Einschätzung der Gefährdung durch Luftverschmutzung war erst möglich, als Forscher darauf hinwiesen, dass es Schäden durch Luftverschmutzung bereits seit dem frühen 19. Jahrhundert fast überall gegeben hatte und dass sogar viele mittelalterliche und römische Städte davon betroffen gewesen waren.

#### **Labor Zürich**

Text und Fotos: Per Storemyr

Beispiele aus Projekten des Expert-Centers (2001–2004).

Dank an Dr. Konrad Zehnder für hilfreiche Kommentare.

#### Literatur

- Brimblecombe, P. (2000): Air Pollution and Architecture: Past, Present and Future. *Journal of Architectural Conservation*, 2: 30–46
- Brimblecombe, P. (Hg.) (2003): *The Effects of Air Pollution on the Built Environment*. Imperial College Press
- Cassar, M. & Pender, R. (in prep.): *Climate Change Impact and the Historic Environment: A Scoping Study for English Heritage*. See also: [www.ucl.ac.uk/sustainableheritage](http://www.ucl.ac.uk/sustainableheritage)
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press
- «Noah's Ark» Homepage: <http://noahsark.isac.cnr.it>
- Nordli, P.Ø. (2004): Spring and summer temperatures in Trøndelag 1701–2003. Report, Norwegian Meteorological Institute
- Pfister, C. (1999): *Wetternachhersage*. Paul Haupt Verlag
- Pfister, C. (Hg.) (2002): *Am Tag danach*. Paul Haupt Verlag
- Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen: [www.praeventionsstiftung.ch](http://www.praeventionsstiftung.ch)
- Storemyr, P. (2004): Weathering of soapstone in a historical perspective. *Materials Characterization*, 53, 2–4: 191–207
- van Wijngaarden, W.A. & Vincent, L.A. (2004): Trends in relative humidity in Canada from 1953–2003. 84th AMS Annual Meeting, Seattle, 10–16 January, American Meteorological Society (Extended Abstract)