

Klimawandel und kulturelles Erbe in der Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Kultur BAK

Veröffentlicht im März 2023 durch das Bundesamt für Kultur BAK

Aufsicht und Koordination:

*Benôit Dubosson und Pierre-André Ottoz, Sektion Baukultur,
Bundesamt für Kultur*

Übersetzung:

Bundesamt für Kultur

Titelbild:

*Glacier 3000, Juli 2022. Ein gigantischer Plan Abdeckplane
deckt die Schneereserven ab. Im Vordergrund die letzten Zentimeter
verbleibendes Eis (© BAK)*

Grafische Gestaltung:

INVENTAIRE Communication Visuelle Sàrl

Klimawandel und kulturelles Erbe in der Schweiz

Inhalts- verzeichnis

1	Vorwort von Benoît Dubosson	5
2	Kulturerbe und Klimawandel von Bernhard Furrer	8
3	Klimawandel und archäologische Fundstellen/Gletscherarchäologie von Thomas Reitmaier	14
4	Auswirkungen des Klimawandels auf die prähistorischen «Pfahlbauten» von Stefan Hochuli	21
5	Anorganische, poröse Materialien: Mauerwerk, Mörtel, Verputz, Anstriche von Christine Bläuer	26
6	Glasmalereien im Klimawandel von Stefan Trümpler	37
7	Bauphysikalische Beeinflussung auf die historische Gebäudesubstanz von Ernst Baumann	42
8	Auswirkungen auf die Tragwerke von Denkmälern von Eugen Brühwiler	45
9	Klimawandel in Gartendenkmälern von Brigitte Nyffenegger	48
10	Zusammenfassung der erwähnten Auswirkungen und der vorgeschlagenen Massnahmen	54
II	Literatur	61

Vorwort

von **Benoît Dubosson**



Die Schweiz ist von den klimatischen Veränderungen der letzten Jahrzehnte besonders betroffen. Zwischen der Referenzperiode (zweiter Industrialisierung, von 1871 bis 1900) und den letzten 30 Jahren (1991–2022) hat die Lufttemperatur in Bodennähe um rund 2 °C zugenommen, was deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von 0,9 °C liegt.

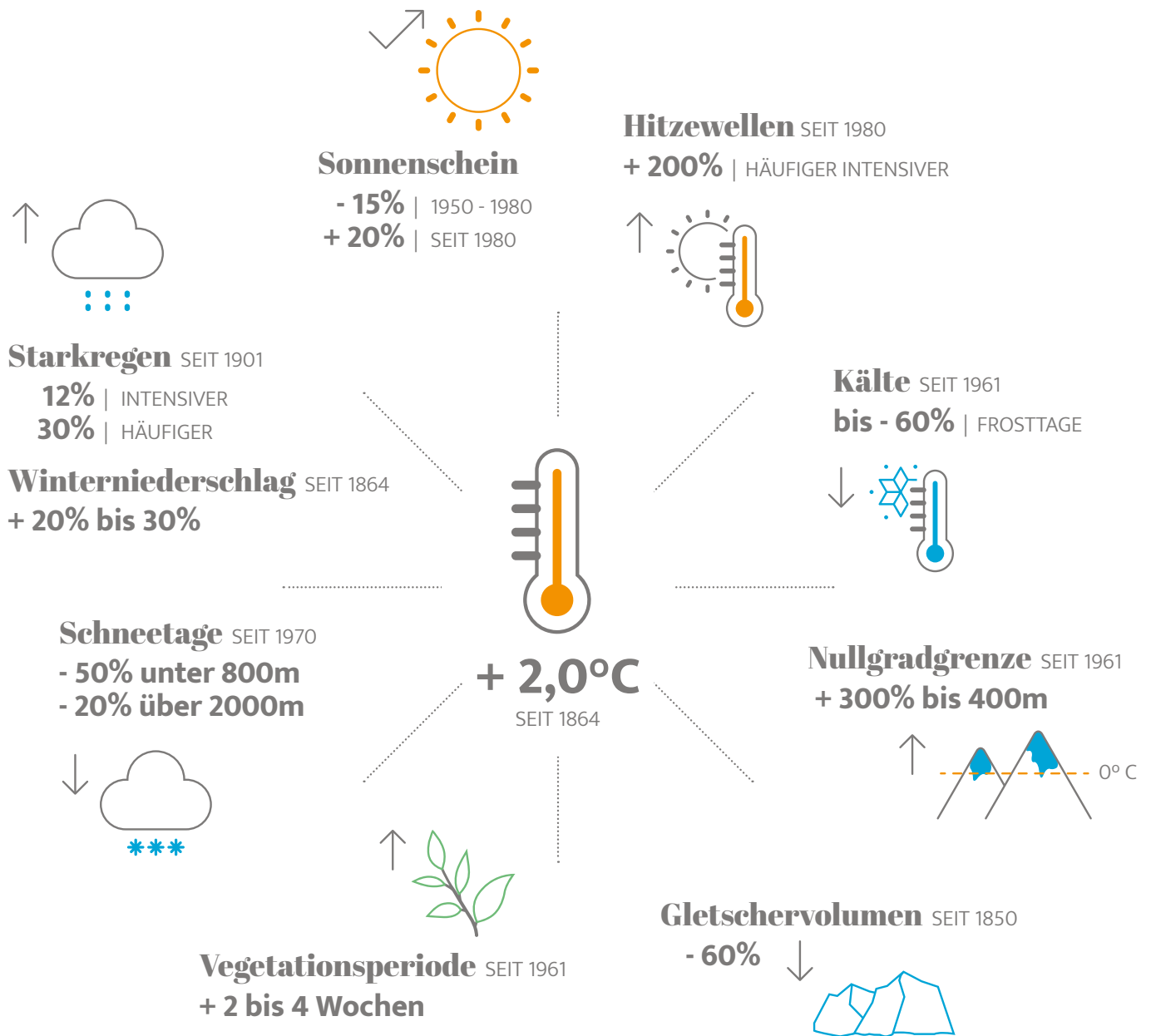
Seit den 1980er-Jahren ist die Erwärmung besonders ausgeprägt und ihre Auswirkungen sind heute sichtbar und wahrnehmbar: Hitzewellen in immer kürzeren Abständen und von immer grösserem Ausmass, häufigere und intensivere Starkregenfälle, 50% weniger Schneefall in Form von Schnee unter 800 m, starker Rückgang der Anzahl Frosttage, Abnahme des Gesamtvolumens der Alpengletscher um fast 60% (vgl. Grafik unten).

Gemäss den aktuellsten nationalen Klimaszenarien (CH2018)¹ wird sich das Klimasystem weiter erwärmen, selbst wenn der Ausstoss von Treibhausgasen umgehend gestoppt würde: Die Sommer werden trockener, die Starkregenfälle intensiver und die Durchschnitts- und Maximaltemperaturen höher, während Schneefall und Schneebedeckung insbesondere in tieferen Lagen weiter abnehmen.

Die nationalen Klimaszenarien erwarten eine durchschnittliche Erwärmung um 2 bis 3,3 °C, wenn es gelingt, in den kommenden Jahrzehnten die Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren.

Gemäss den pessimistischsten Szenarien, die von ungebremsen Treibhausgasemissionen ausgehen, ist in der Schweiz in derselben Zeitspanne mit einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 4,8 bis 6,9 °C gegenüber dem Niveau der vorindustriellen Zeit zu rechnen.

¹ CH2018 | 01.02.2023



Beobachtete Veränderungen

Beobachtete Klimaentwicklung in der Schweiz
 (National Centre for Climate Services)²

² Beobachtete Klimaentwicklung in der Schweiz | 01.02.2023

1.1 Auswirkungen auf das gebaute und archäologische Kulturerbe

Seitdem das Welterbekomitee 2005 auf diese Thematik aufmerksam wurde, sind die Auswirkungen des Klimawandels auf das Kulturerbe Gegenstand zahlreicher, wissenschaftlicher Publikationen auf internationaler Ebene geworden. Viele Organisationen beschäftigen sich seitdem auf internationaler Ebene mit diesem Thema.

Seitdem werden die Trends im Klimawandel immer klarer: Temperaturerhöhung, veränderte Luftfeuchtigkeit, schmelzender Permafrost, Veränderung der Grundwasserspiegel, Häufung von Hochwasser und Erdbeben, häufigere Trockenperioden, veränderte Bodenbeschaffenheit usw.

Diese Veränderungen können erhebliche Auswirkungen auf die Stabilität und den Erhalt historischer Gebäude, die Integrität archäologischer Zeugnisse und die Haltbarkeit von Werkstoffen haben und erhöhen damit das Schadensrisiko in allen Bereichen des kulturellen Erbes in der Schweiz. Abgesehen von gemeinsamen Grundsätzen ist festzustellen, dass diese Phänomene in der Praxis heute nicht ausreichend wahrgenommen werden und dass die Akteure und Akteurinnen stärker sensibilisiert werden müssen.

Diese Thematik sollte in allen betroffenen Fachkreisen vertieft werden, so dass mögliche Auswirkungen und Risiken frühzeitig erkannt werden. Grundlagenpapiere mit nachhaltigen Empfehlungen für Fachpersonen könnten die langfristige Erhaltung des Schweizer Kulturerbes in hohem Masse begünstigen und zur Sensibilisierungsarbeit beitragen.

Das Bundesamt für Kultur hat vor diesem Hintergrund eine Expertengruppe einberufen, die sich im Rahmen ihrer Fachkompetenzen mit der Frage nach den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Schweizer Kulturerbe befasst hat. Ihre Beiträge werden im Folgenden vorgestellt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit gibt dieses Dokument zum ersten Mal einen Überblick über die wichtigsten vorhersehbaren Auswirkungen des Klimawandels auf das unter Wasser liegende, das archäologische und das gebaute Kulturerbe der Schweiz. In Kapitel 10 werden die von den Expertinnen und Experten vorgeschlagenen Empfehlungen und Massnahmen in einer übersichtlichen Tabelle zusammengefasst. Die Ergebnisse werden in die Ausarbeitung eines Aktionsplans einfließen, der darauf abzielt, zukünftige Veränderungen so weit wie möglich zu antizipieren und so die langfristige Erhaltung unseres Kulturerbes zu stärken.

Kulturerbe und Klimawandel

von Bernhard Furrer



Das Klima hat sich verändert und es wird sich weiterhin in dieselbe Richtung verändern. Die Temperaturen werden steigen. Die Niederschlagsmengen werden im Winter zu-, im Sommer abnehmen. Die Stärke von Winden und Böen wird zunehmen. Es ist unsicher, in welchen Grenzen die Veränderungen gehalten werden können. Die nachfolgenden Überlegungen stützen sich auf die Klimaszenarien CH- 2018, die von einer Steigerung der Jahreshöchsttemperatur bis gegen 6 °C, der Jahresmitteltemperatur bis über 3 °C, der Sommertemperatur bis über 4 °C ausgehen und im Sommer mit Niederschlagsänderungen bis –25%, im Winter bis +21% rechnen.

Diese markanten Veränderungen des Klimas führen zur Frage, inwieweit sie einen Einfluss auf das Kulturerbe und namentlich die Baudenkmale haben. Lassen sich direkte Auswirkungen auf die Baudenkmäler heute erkennen? Lassen sie sich quantifizieren? Kann mit Massnahmen bzw. Empfehlungen allfälligen Schäden entgegengewirkt werden? Die nachfolgenden Anmerkungen sind Beobachtungen nicht eines Spezialisten, sondern eines Allgemeinpraktikers der Denkmalpflege, der indessen im Vorfeld mit vielen Fachleuten gesprochen hat, die sich tagtäglich mit diesen Fragen auseinandersetzen. Ausgehend von den Einflüssen auf verschiedene Materialien, werden die Folgen für grössere Gesamtzusammenhänge skizziert.

Eines zeigen die Überlegungen und Einordnungen zu diesen Fragen klar: **Die grösste Gefährdung für die Baudenkmäler bleiben die Menschen.**

2.1 Stein

Bei Hartsteinen, wie Granit oder Kalksteinen, werden wohl keine nennenswerten Einflüsse des Klimawandels festzustellen sein.

Bei Granitischen Sandsteinen³ (Sandsteine der subalpinen Unteren Süsswassermolasse; an Bauwerken oft als Bollinger», «St. Margrethener» oder «Aegeri-» Sandsteine bezeichnet vgl. Zehnder 1982) kann sich, beschleunigt durch erhöhten Wassereintrag und anschliessende Trocknung, das Öffnen der Lagerfugen beschleunigen und verstärken. Daher werden konservierende Interventionen sind zu einem früheren Zeitpunkt nötig sein.

Berner- und Freiburger-Sandsteine (Sandsteine der Oberen Meeresmolasse) werden tendenziell beschleunigt absanden. Dieser Effekt dürfte nicht nachprüfbar sein.

Bei gewissen Sandsteinen, bspw. Plattensandsteinen (Sandsteine der subalpinen Oberen Meeresmolasse; an Bauwerken oft als «Luzerner», «Bächer» und «Rorschacher» Sandsteine bezeichnet vgl. Zehnder 1982) nimmt bei höheren Temperaturen die thermische Dilatation zu und dadurch können Kantenpressungen oder Risse zunehmen.

³ Eine Übersicht über die Molassesandsteine der Schweiz gibt de Quervain 1969.

2.2 Mauerwerk

Der Wechsel des Aggregatzustands von Salzen zwischen gelöster und auskristallisierter Form, in porösen, anorganischen Baumaterialien in altem Mauerwerk ein wichtiger Schadensmechanismus, kann durch neue Feuchtigkeits- und Wärmeverhältnisse häufiger auftreten und dadurch zur Beschleunigung des Zerfalls führen.

2.3 Mörtel

Die Verarbeitung kalkgebundener Mörtel wird deutlich aufwändiger, da sie vor dem Austrocknen durch Hitze und Wind besser geschützt und während längerer Zeit gepflegt werden müssen. In den ersten Wochen und Monaten nach Verarbeitung sind kalkgebundene Mörtel zudem auf grosse Regenmengen empfindlich.⁴

Bei vergüteten Mörteln besteht bei Starkregen mit grossem Wassereintrag vor dem vollständigen Abbinden die Gefahr, dass die erforderliche Festigkeit nicht erreicht wird.

2.4 Gebrannter Ton

Verputzte Backsteine werden wohl keine Reaktion auf die Folgen des Klimawandels zeigen. Bei Sichtmauerwerk können die grössere Durchnässung im Winter und anschliessende Frosttemperaturen zu Problemen führen.

Dachziegel sind auf die klimabedingten Veränderungen an sich nicht empfindlich. Allerdings sind die Fälze älterer und heutiger Falzziegel im unteren Dachbereich den grösseren Wassermengen bei Starkregen nicht gewachsen; sie können überlaufen und es kann Wasser unter die Ziegel in das Tragwerk gelangen.

2.5 Metall

Für ordentlich geschützte Stahlbauteile hat der Klimawandel keine schädigenden Folgen. Allenfalls müssen Schutzmassnahmen häufiger erneuert werden.

Blechdächer älterer Bauart verfügen teilweise über zu geringe Dilatationsmöglichkeiten, um die grösseren Temperaturdifferenzen aufnehmen zu können, was zu Blechrissen führen kann. Teilweise ist zudem die Falzhöhe zu gering, um die vermehrt auftretenden Starkregenereignisse zu bewältigen, namentlich dann, wenn noch Schnee liegt.

Die heute üblichen Dimensionen von Regenrinnen und Ablaufrohren werden den zu erwartenden Starkregenereignissen nicht mehr genügen. Entweder sind sie zu vergrössern oder es sind für die (seltenen) Fälle des Ungenügens gezielte Überläufe zu schaffen.

2.6 Holz

Holz muss ohnehin vor direkter Beregnung geschützt werden.

Bei langen Perioden mit hoher Luftfeuchtigkeit kann durch die langandauernde Durchfeuchtung eine zusätzliche Gefährdung durch Fäulnis oder Wachstum von Mikroorganismen entstehen.

⁴ Der Sturm «Burglind» brachte enorm viel Regenwasser, heftige Winde und plötzliche Kälte. Die einige Wochen zuvor für die Restaurierung der Ruine Goldswil verwendeten kalkhaltigen Mörtel mussten ersetzt werden.

2.7 Farbanstriche

Insgesamt muss von einem deutlich höheren Aufwand für die Erhaltung von Farbanstrichen ausgegangen werden, wenn die von ihnen geschützten Materialien ihren Schutz behalten sollen.⁵

Wegen der höheren UV- und Ozon-Belastung müssen ölige Farbsysteme in kleineren Abständen gepflegt bzw. regeneriert werden.⁶

Die höhere UV-Belastung gefährdet thermoplastische Beschichtungen, bspw. Kunstharzanstriche: Die Polymere werden weich, gasen aus und die Anstriche werden spröde.

Auf Mineralfarben hat der Klimawandel wohl keinen nennenswerten Einfluss.

2.8 Fassaden

Wenn aus Gründen der Behaglichkeit oder zur Reduktion von Wärmeverlusten mehr gedämmt wird, bedeutet das auch, dass bauphysikalisch gesehen, quantitativ und qualitativ entsprechend mehr falsch gedämmt wird. Die heute gängige verputzte Aussenwärmedämmung (Kompaktfassade) hat sich bezüglich Planung und Ausführung als heikel erwiesen, führt nach ihrer Lebensdauer zu einer grossen Menge an Sondermüll und beeinträchtigt historische Bauwerke wesentlich.

Fenster waren in der Regel die Flächen, auf denen die Innenluft vorab kondensierte, und sie sorgten für minimalen Luftaustausch. Sie sind nach einer Sanierung wärmer und dichter und in der Folge kann an der Innenseite der Aussenwand Kondensat entstehen, das zu Schimmel und anderen Schäden führen kann; dies ist an historischen Wandoberflächen besonders bedenklich.

⁵ Das Monitoring der Figurenbrunnen in Bern, erfolgte früher alle vier Jahre, nun wird es alljährlich durchgeführt.

⁶ Das können beispielsweise zusätzliche Beschattungseinrichtungen oder die Installation von Kühlgeräten sein.

2.9 Innenräume

Wegen der steigenden Aussentemperaturen werden Innenräume vermehrt zu heiss oder werden als zu heiss empfunden. Traditionelle Gegenmassnahmen wie eine konsequente Nachtauskühlung oder das Abschotten der Räume von Licht und Aussenluft sind vielerorts vergessen gegangen. Beschattungen mit Jalousieläden oder Stoffstoren werden als ungenügend empfunden und durch Rafflamellenstoren ersetzt, die die visuelle Integrität des Baudenkmals beeinträchtigen. Es kann zudem der Druck entstehen, technische Massnahmen gegen die Überhitzung zu ergreifen. Dabei werden zuweilen Installationen vorgenommen, die Schäden am Baudenkmal verursachen oder es visuell beeinträchtigen können.⁷

2.10 Baustellenpraxis

Sturmwinde mit höheren Windgeschwindigkeiten und Böen verlangen besser gesicherte Gerüste, namentlich auch bei deren Abdeckungen und Einwandungen. Allenfalls sind zusätzliche Abspannungen nötig. Wegen dieser Einflüsse muss zudem auf den Gerüsten stets einwandfrei aufgeräumt sein und Wochenendkontrollen sind nötig. Der Mehraufwand ist beträchtlich.

Wegen der höheren Temperaturen, die durch den Klimawandel zu erwarten sind, werden die Perioden länger, in denen viele Tätigkeiten wie Steinfestigungen oder Mörtelarbeiten⁸ nicht mehr möglich sind. Die Planung von Baustellenabläufen wird damit aufwändiger und die Arbeiten brauchen mehr Zeit.

⁷ Festigungen mit Kieselsäureethylester können nur bei Luftfeuchtigkeit nahe 50% und 10 bis 20°C richtig durchgeführt werden. Bei ungünstigen Bedingungen kann die Hydrolyse nicht richtig ablaufen oder das Ethanol verdunstet zu rasch.

⁸ Bei Mörtelarbeiten sind namentlich hohe Temperaturen ein Problem. Betroffen sind nicht bloss baustellengemischte Kalkmörtel, sondern auch Fertigmischungen. Den Schwierigkeiten kann durch erhöhten Aufwand bei der Pflege entgegengewirkt werden. Allerdings ist bei eingewandeten Gerüsten die Hitze kaum wegzubringen.

2.11 Anpassung an Normen und heutige Leitbilder

Eine grosse Gefahr für Baudenkmäler entsteht bei ihrer Adaptation an neue Vorstellungen und Normen, mit denen versucht wird, den Klimawandel zu verlangsamen. Werden sie vollumfänglich und ohne Berücksichtigung der speziellen Anforderungen des konkreten Baudenkmals umgesetzt, sind massive Eingriffe unvermeidlich und die Unversehrtheit von Substanz und Erscheinung der Baudenkmäler ist in hohem Mass gefährdet. Es ist unerlässlich, dass in neuen Normen Ausnahmemöglichkeiten für Baudenkmäler bzw. die Notwendigkeit einer Abwägung der verschiedenen Interessen vorgesehen werden.⁹

Es ist daher nötig, dass eine zentrale Stelle den Auftrag übernimmt, das Normenschaftern systematisch zu begleiten und im Prozess der Normenerarbeitung bzw. -revision sehr frühzeitig dafür sorgt, dass für Baudenkmäler spezifisch angepasste Regeln gelten bzw. Abwägungsprozesse vorgesehen werden.¹⁰

Neue Normvorstellungen und -werte, die als Folge des Klimawandels die Baudenkmäler gefährden können, bestehen insbesondere bezüglich Wärmedämmung und Energiegewinnung.¹¹ Im Bereich der Wärmedämmung sind insbesondere auf die Aussendämmung mit bedeutenden Schichtdicken und auf den Ersatz historischer Fenster hinzuweisen, im Bereich der Energiegewinnung auf Photovoltaik- und Wärmegewinnungsanlagen. Eine besondere Gefährdung geht von der unreflektierten Anwendung bestehender Labels auf Baudenkmäler aus.

⁹ Eine solche Ausnahmeregelung, bzw. Vorschrift zur Interessenabwägung besteht beispielsweise in Art. 11 des Bundesgesetzes über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen vom 13. Dezember 2002, bzw. in Art. 6 der Verordnung über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen vom 19. November 2003.

¹⁰ Vor längerer Zeit hat der Autor im Auftrag der Konferenz der Denkmalpfleger der Schweiz KDS diese Aufgabe übernommen und in mehreren Fällen annehmbare Resultate herbeiführen können. Seit Jahren wird aber die Ausarbeitung schweizerischer Normen (SIA, Brandschutz, bauliche Massnahmen zugunsten von Menschen mit eingeschränkter Mobilität etc.) seitens der Denkmalpflege nicht mehr begleitet.

¹¹ Sie addieren sich zu anderen Normen, die Baudenkmäler gefährden, bspw. bezüglich Feuerwiderstand von Materialien, Absturzsicherung, Erdbbensicherheit.

2.12 Direkte Schäden durch Naturereignisse

Baudenkmäler sind als Folge des Klimawandels vermehrt durch heftigere Sturmwinde, intensivere Regenfälle mit grösseren Niederschlagsmengen, grösseren Schneelasten, vermehrte Überschwemmungen oder eine gesteigerte Anzahl von Blitzen betroffen. Diese Gefährdung unterscheidet sich indessen nicht von der durch solche Ereignisse hervorgerufenen Gefährdung aller Hochbauten. Sie kann sich als Folge der altersbedingten grösseren Fragilität von Baudenkmälern stärker auswirken.

2.13 Städtische Aussenräume

Stadt unter Druck!¹²

Das Stadtklima hat sich durch den Klimawandel stärker verändert als dies weiträumig beobachtete Tendenzen vermuten lassen. Der Klimawandel, wie er von den Klimaszenarien CH-2018 skizziert wird, hat erhebliche Auswirkungen auf die Städte und ihren öffentlichen Aussenraum; gerade hier kann es zu einer Akzeleration der negativen Einflüsse kommen.

Wichtig ist vor allem die zunehmende Hitzelast, die sich in den Städten verschärft auswirkt. Sie wird verstärkt durch die grossflächig versiegelten Böden, den Mangel an Grün- und Freiflächen, die Wärmespeicherkapazität der grossen Gebäudevolumen und die erschwerte Durchlüftung. Wenn Gegenmassnahmen ergriffen werden, sind sie unbedingt auf die historischen Gegebenheiten abzustimmen. Verdichtungen in städtischen Gebieten müssen diese Aspekte zwingend beachten.

Die zuweilen als Mediterranisierung bezeichnete, von verschiedenen Gemeinden ausdrücklich geförderte Belebung des Aussenraums führt zu einer durchaus erwünschten Belebung. Dabei werden jedoch Strassen und Plätze in historischen Stadt- und Dorfkernen zuweilen von privaten Aussenbestuhlungen oder öffentlichen Bank- und Stuhlangeboten, mit Sonnenschutzsegeln und -schirmen (teilweise mit Reklamecharakter) vollgestopft – Hemmnis für Passantinnen und Passanten und visuelle Beeinträchtigung zugleich.

¹² Magdalena-Leyser et al. 2021.



Trockener Rasen, Garten Schloss Riggisberg BE, 17.8.2022
(© Umland GmbH)

Besonders die städtischen Alleen leiden unter der grösseren Hitze und geringeren Niederschlagsmengen. Die aufgeheizten Asphaltflächen strahlen zusätzliche Hitze aus, selbst vergrösserte Baumscheiben genügen für die Wasserzufuhr nicht. Vermehrt müssen Alleen aufwändig durch Tankwagen mit Wasser versorgt werden. Neu gepflanzte Bäume wachsen trotz intensiver Pflege nicht an. Historische Baumarten müssen ausgewechselt werden.¹³

Historische Städte und Dörfer mit See- und/oder Flussanstoss sind durch die zunehmenden Hochwasserereignisse stark betroffen. Abgesehen von den Schäden, die dadurch an historischen Bauten entstehen, wirken sich vor allem die Massnahmen zur Schadensvermeidung, die aus einem Null-Risiko-Denken heraus konzipiert werden, zuweilen äusserst negativ auf die Erscheinung historischer Orte aus: Hohe Schutzmauern werden gebaut, Eingriffe in historische Bauten wie Schwellen vorgenommen oder historische Anlagen wie Brücken höhergelegt. Die rigiden Vorschriften des Bundes zum Hochwasserschutz erschweren die Suche nach verträglichen Lösungen.

2.14 Historische Gärten

Während sich die Auswirkungen des Klimawandels in kleineren historischen Haus- und Bauergärten durch eine intensiviertere Pflege weitgehend kompensieren lassen, ergeben sich bei grösseren historischen Garten- und Parkanlagen vor allem Probleme wegen der geringeren Niederschlagsmengen im Sommer. In langdauernden Trockensommern mit hohen Temperaturen¹⁴ vertrocknet das

Erdreich bis in grosse Tiefe und danach vermögen auch ergiebige Niederschläge die Böden nicht genügend zu durchfeuchten. Auch die höheren Temperaturen setzen die Pflanzen unter Stress. Dies betrifft nicht bloss die Bäume, in Parks und städtischen Alleen, sondern gleichermassen Sträucher und Stauden. Die Folge sind vermehrt absterbende Gehölze. Nachpflanzungen werden zunehmend schwierig, da die Jungpflanzen deutlich länger gepflegt werden müssen, damit sie anwachsen. Die Trockenheit führt zu einem erheblich grösseren Aufwand für die Parkpflege.

Offenbar werden mehrere Baumarten die Folgen des Klimawandels langfristig nicht überstehen. In schweizerischen Verhältnissen sind dies beispielsweise Rotbuchen, Ahorne (vor allem Bergahorne), Fichten und Rosskastanien¹⁵. Sie müssen langfristig durch andere Spezies ersetzt werden. Dabei ist festzuhalten, dass geeignete Arten aus dem europäischen Süden in der Regel die Höhe und Kronenvolumen der zu ersetzenden Art nicht annähernd erreichen. Das bedeutet, dass gut akklimatisierte Altbäume in städtischer Umgebung und in Parks unbedingt erhalten werden müssen.

Eine Spezies, die die höheren Temperaturen und die geringeren Sommerniederschläge schlecht erträgt und mittelfristig aus den Parks verschwinden könnte, sind die Mammutbäume (Sequoia). Im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind sie zudem vermehrt durch Borkenkäfer bedroht.

¹³ An der Bernastrasse in Bern wurden vor 130 Jahren Weissdorn-Alleebäumchen (*Crataegus x lavalleyi* und vereinzelt *Crataegus laevigata*) gepflanzt und seither Abgänge ersetzt. Verursacht durch die Klimaveränderung vertrocknen sie, sind vermehrt von Pilzen befallen und sterben ab. Seit 15 Jahren werden sie nach und nach durch weissblühende Magnolien (*Magnolia kobus*) ersetzt.

¹⁴ Das Problem verschärft sich natürlich bei mehreren nacheinander folgenden Trockensommern.

¹⁵ Rosskastanien sind aktuell vor allem durch die Rosskastanienminiermotte gefährdet.

2.15 Empfehlungen

Die Identifizierung der wichtigsten Arten von vorhersehbaren Auswirkungen zeigt, dass die Einflüsse des Klimawandels auf Baudenkmäler durch eine vermehrte aufmerksame Pflege in engen Grenzen gehalten werden können. Es ist aber davon auszugehen, dass sowohl Folgen für die laufenden Pflegekosten entstehen wie auch mit erhöhten Aufwendungen in der Umsetzung von Restaurierungsmassnahmen zu rechnen ist.

Vor allem in der Gartendenkmalpflege sind grössere Schwierigkeiten zu erwarten. Es wird eine zunehmende Erhöhung des Pflegeaufwandes, ein zunehmender Verlust an Gehölzen (Bäume, Sträucher und Stauden), Schwierigkeiten bei Nachpflanzungen und ein Verzicht auf gewisse Gehölzarten eintreten.

Soweit heute ersichtlich, können die Auswirkungen allerdings nicht oder zumindest noch nicht im Einzelnen bewertet oder gar quantifiziert werden.

Die einzige heute sinnvolle Massnahme scheint eine sorgfältige und vertiefte Beobachtung zu sein. Es ist zu empfehlen, dass in den nächsten Jahren die verschiedenen oben skizzierten, Entwicklungen – sie sind heute wohl nur unvollständig erkennbar – einem **systematischen Monitoring** unterzogen werden. Dieses sollte sich auf zwei verschiedene Beobachtungsfelder abstützen.

- Zum einen sollte für mehrere Anlagen (Baudenkmäler verschiedener Gattungen und historische Parks), die ohnehin kontinuierlich professionell betreut werden,¹⁶ die Anlage von Musterflächen in Auftrag gegeben werden, die ständig beobachtet und deren Verhalten (mitsamt weiteren Beobachtungen im Umfeld) periodisch in systematischer Weise dokumentiert wird.
- Zum andern sollten Einzelpersonen, Fachleute der verschiedenen Ausrichtungen (Stein, Holz, Restaurierung, Baumpflege etc.) beauftragt werden, in periodischen Berichten ihre konkreten Beobachtungen darzulegen und zu interpretieren.

Im Verlauf der Jahre sollte es möglich sein, aus diesen Beobachtungen konkrete Schlüsse zu ziehen, vielleicht gar generelle Handlungstypen zu entwickeln. Allenfalls wird es auch gelingen, zu quantifizierenden Aussagen zu kommen.

¹⁶ In Frage kommen die Bauhütten der Schweizer Münster, die Fachleute des Freiluftmuseums Ballenberg etc.

Klimawandel und archäologische Fundstellen/ Gletscherarchäologie

von Thomas Reitmaier



*Gletscherarchäologisches Monitoring am hochalpinen Übergang Fuorcla da Faller, Kanton Graubünden, Juni 2022
(© Thomas Reitmaier)*

	Ohne wirksamen globalen Klimaschutz (Szenario RCP 8.5)	Mit konsequentem globalen Klimaschutz (Szenario RCP 2.6)
Jahresmitteltemperatur	+2.0 bis +3.3°C	+0.7 bis +1.9°C
Sommertemperatur	+2.3 bis +4.4°C	+0.9 bis +2.5°C
Wintertemperatur	+1.8 bis +3.3°C	+0.6 bis +1.9°C
Niederschlagänderung Sommer	-25% bis +9%	-16% bis +7%
Niederschlagänderung Winter	-3% bis +21%	-1% bis +16%
Jahreshöchsttemperatur	-2% bis +5.7%	+1% bis +3.2%

Übersicht klimabedingte Auswirkungen gegenüber heutigen Verhältnissen (1981 - 2010) bis Mitte Jahrhundert (2045 - 2074) mit und ohne wirksamen Klimaschutz. Quelle: CH2018.

3.1 Klimawandel – Szenarien einer Zukunft

Die vor allem in CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels sind in vielem bekannt und lassen sich stichwortartig – auch mit Blick auf **archäologische Fundstellen** – wie folgt charakterisieren:

Sommer: deutlicher Temperaturanstieg, veränderter (verminderter) Niederschlag bzw. stärkere Trockenheit, d. h. allgemein längere niederschlagsfreie Perioden und mehr Hitzetage bzw. eigentliche Hitzeperioden, verbunden mit höherer Verdunstung/veränderter Luftfeuchtigkeit; veränderte Bodenbeschaffenheit; im alpinen Bereich Gletscherschmelze bzw. deutlicher Anstieg der Permafrostgrenze bzw. sommerliches Auftauen des Permafrostes; deutlich steigende Frequenz von Naturgefahren und Extremwetterereignissen (Starkniederschläge, Hagel, Hochwasser etc.) sowie von Fels- und Bergstürzen, zunehmende Erosion und Erdbeben.

Winter: wärmer und schneeärmer, mehr Niederschlag (aber vorwiegend als Regen), kaum Schneedecke in tiefen Lagen, geringere Schneemenge in höheren Lagen, Vorkommen von Schnee und Eis schrumpfen (Gletscherschmelze im Sommer); starke Auswirkungen auf Wintertourismus, Wasserkraft und Verkehr.

Allgemein: Neophyten bzw. Neozoen (neue invasive Pflanzen- und Tierarten, mitunter sehr schädlich bzw. in ihrer Auswirkung noch häufig unbekannt); durch Klimawandel/Mensch veränderte Vegetation, Biodiversität und Landschaft(en).

3.2 Klimawandel und archäologische Fundstellen

In der Schweiz existieren – gemäss der Denkmalstatistik von 2016 – rund 39'000 archäologische Fundstellen (d.h. Stellen, an denen ein archäologischer Fund belegt ist), die von der Altsteinzeit bis ins 20. Jahrhundert reichen. Allein diese enorme Zahl bzw. die räumliche, zeitliche und thematische Bandbreite an verschiedenartigen archäologischen Quellen verunmöglichen derzeit wohl eine adäquate und differenzierte Bemessung (Erkennen/Benennen) möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf das archäologische Kulturerbe. Konsultiert man die bisher veröffentlichten Untersuchungen und (primär internationalen) Publikationen/Diskussionen zum Thema Klimawandel und Archäologie wird zugleich deutlich, dass sich die aktuellen bzw. modellierten Auswirkungen auf archäologische Fundstellen derzeit vor allem auf Küstengebiete (steigender Meeresspiegel, Überflutung, Erosion) bzw. Fundstellen mit Feuchterhaltung (im Eis/Permafrost bzw. Feuchtboden/unter Wasser) konzentrieren. Untersuchungen zum mittel- und langfristigen Einfluss des Klimawandels auf andere archäologische Fundstellen in Binnenländern existieren indes kaum. Daher können auf Basis des momentanen Forschungsstandes leider keine genaueren Angaben gemacht werden, sondern es muss mit den sehr allgemein gehaltenen Szenarien gearbeitet und diese (erst) jeweils spezifisch in ihrer Auswirkung auf die archäologischen Fundstellen in der Schweiz geprüft werden. Solche *möglichen* Folgen des Klimawandels könnten beispielsweise sein:

- Verstärkte Schäden oder gänzlicher Verlust an archäologischen Fundstellen durch die steigende Zahl und Wahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen, Erosion oder Naturgefahren/Brände, sowohl im Boden als auch ober-tägig; dies gilt selbstredend auch für historische Bauten/Baukultur, die häufig ebenfalls in der Zuständigkeit kantonaler archäologischer Fachstellen liegen.

Bsp.: Bergsturz von Bondo GR (2017) und Totalverlust einer historischen Begräbnisstätte am Fuss des Piz Cengalo.

- Beschleunigter Abbau und Verlust von organischem Material (z. B. Knochen, Textilreste, Leder, Holz, Grossreste usw.) auch in Mineralböden durch stärkere Trockenheit/Dürre, veränderte Luftfeuchtigkeit, Grundwasserspiegel oder Bodenchemismus («Anthropozän»).

Bsp.: Frühmittelalterliches Gräberfeld mit organischer Erhaltung, Bedrohung durch veränderten Grundwasserspiegel und lange Trocken-/Hitzeperioden.

- Veränderte Vegetation (z. B. Ansteigen der Waldgrenze im Alpenraum) oder neuartige Pflanzen/Tiere könnten archäologische Fundstellen negativ beeinflussen. In diesem Zusammenhang ist auch an «klimabedingte» Massnahmen beispielsweise im innerstädtischen Bereich zu denken (verstärkte Bepflanzung mit Bäumen, Grünflächen), die indirekt ebenfalls Auswirkungen auf den Erhalt archäologischer Fundstellen haben können.

Bsp.: Mittelsteinzeitliche Fundstellen im (sub-)alpinen Bereich, Bedrohung durch rasch ansteigende Waldgrenze bzw. flächige Waldausbreitung/Durchwurzelung und Neophyten.

- Störung stratigrafischer Abfolgen/archäologischer Befunde aufgrund von Veränderungen der Bodenstruktur (allg. Standortfaktoren) bzw. verstärkter Solifluktion/Erosion, was zu einem Verlust von Kontext/Informationen bzw. Datierungsmöglichkeiten führen könnte.

Bsp.: Teil- oder Totalverlust einer archäologischen Fundstelle in Hanglage durch Erdbeben bei Hochwasser oder Starkniederschlag.



Spätmesolithische Abbaustelle für Bergkristall an der Fuorcla da Strem, Kanton Uri – im Randbereich des stark abgeschmolzenen Brunnfirns, ca. 2850 m Höhe, Sommer 2015 (© ADG)

- **Gletscherarchäologie:** Hier ist der (nurscheinbar «positive») Einfluss des Klimawandels auf archäologische Fundstellen am längsten wirksam bzw. derzeit am offensichtlichsten. So ist gut bekannt, dass die alpinen Gletscher seit mehreren Jahrzehnten stark schmelzen und mancherorts bereits gänzlich verschwunden sind. Im Zuge dieses klimabedingten Eisverlustes treten – ebenfalls bereits seit mehreren Jahrzehnten – in allen Teilen der Alpen insbesondere im Bereich von hochalpinen Übergängen («Mobilitätskorridore») archäologische Funde zutage (v. a. organische Materialien), z. B. am Schnidejoch im Berner Oberland. Das Thema Gletscherarchäologie bzw. die Gefährdung archäologischer Funde im hochalpinen Raum durch die Klimaerwärmung hat in den letzten Jahren eine deutliche Professionalisierung erfahren: in praktisch allen Schweizer Gebirgskantonen (Graubünden, Uri, Wallis, Bern u.a.) und auch in den benachbarten Alpenländern ist man sich mittlerweile dieser Problematik grundsätzlich bewusst und hat entsprechende Aktivitäten

initiiert, um diese wertvollen «Eisfundstellen» rechtzeitig entdecken und bedrohte Funde bergen zu können. Ein besonderer Vorteil ist, dass verstärkt auf die Zusammenarbeit mit Bergwanderern und Alpinisten gesetzt wird im Sinne von «public/citizen science» und das Thema zudem eine grosse mediale Aufmerksamkeit genießt. Akuter Handlungsbedarf besteht hier aus meiner Sicht kaum (mehr), bestenfalls Optimierungsbedarf in der interkantonalen Zusammenarbeit (Bsp. **icewatcher-app**, Kanton Wallis) und der finanziellen/personellen Koordination/Priorisierung der Aktivitäten für die verbleibenden 5 bis 10 Jahre.



Beispiel einer Notgrabung im Bereich Zizers GR, Vialstrasse/Schlossbungert, ab Januar 2022 (© ADG)

Weitere Aspekte

Schneearme und warme Winter bzw. der dadurch weitgehend fehlende Unterbruch in der Bauwirtschaft führen (beispielsweise in Graubünden) seit längerem zu archäologischen Notgrabungen während des gesamten Jahres. Gleichzeitig bleibt dadurch kaum mehr Zeit für eine adäquate Nachbearbeitung der Grabungen (Ablage, Archivierung, rudimentäre Auswertung etc.), wodurch der Druck auf den Schutz des archäologischen Kulturerbes bzw. auf adäquate Ersatzmassnahmen weiter zunimmt.

Hitzeperioden und Starkniederschläge/Unwetter (Hagel u. ä.) erschweren bzw. verunmöglichen zudem die archäologischen Feldarbeiten während der Sommermonate und stellen teilweise bereits heute eine ernstzunehmende physische Belastung, ja Gefahr für Personal und Infrastruktur dar.

Unklar, aber mittelfristig ebenfalls zu berücksichtigen, ist die Problematik von Auswirkungen durch den Klimawandel auf archäologische Sammlungen und Archive (d. h. Funde, Dokumentationen, Bildmaterial etc.) vor allem in Bezug auf Klimatisierung, Hitze/Trockenheit, Feuchtigkeit, Extremwetterereignisse, Naturgefahren, (neue) Schädlinge und andere Faktoren.

Einige wesentliche Punkte aus dem *EAA 2021 Kiel Statement on Archaeology and Climate Change*

Climate change puts archaeological remains at risk. Among the climate-driven forces affecting archaeological sites are coastal erosion, sea-level rises leading to inundation, droughts, floods, the drying of soils including peats, soil erosion, increased frequency and intensity of wildfires, changes to the weather leading to extremes of heat, precipitation and storms, changes in vegetation and biodiversity, permafrost thawing, and glaciers melting.

- Preserving both rural and urban archaeological sites and landscapes can help mitigate climate change. For example, preservation of archaeological sites and monuments in pasture, grasslands and peatlands can help both preserve cultural assets and help meet ecological, biodiversity and climate change goals.
- Archaeologists and cultural resource managers must have a basic understanding of climate change issues in order to better protect and manage archaeological resources for the future. For example, archaeologists and cultural resource managers should create best practices to monitor and mitigate the effects of climate change on archaeological remains, and to create an appropriate record of those sites and remains which cannot be saved.
- Archaeologists should explore ways to translate fundamental archaeological research into actionable science to inform decision-making, as well as monitor climate change as it relates to archaeology and heritage.

3.3 Empfehlungen: die Reihenfolge auch i. S. einer Priorisierung für die kommenden drei bis zehn Jahre:

- Es ist den archäologischen Fachstellen in der Schweiz zu empfehlen, das Thema «Klimawandel und archäologische Fundstellen» bewusster als bislang wahrzunehmen und wenn immer möglich stärker im Schutzgedanken bzw. im gesetzlichen Auftrag für das archäologische Kulturerbe zu verankern. Zudem erscheint es ratsam, in den kommenden drei bis fünf Jahren den Stand der aktuellen Forschung (inter-/national) vertieft abzugleichen und zu erfassen (zentrale Literatur-Datenbank?), um die möglichen (negativen) Auswirkungen des Klimawandels auf die spezifischen Fundstellen(-landschaften) in den einzelnen Kantonen besser erkennen und bewerten zu können. Es existiert jedenfalls eine grosse, rasch anwachsende Menge an publiziertem Material zum Thema **Climate Change/Anthropocene/Cultural Heritage**. Hier drängt sich auch eine engere Zusammenarbeit mit Universitäten und anderen Hochschulen auf, um das Thema in Forschung und Lehre besser sichtbar und nutzbar zu machen. Die kommenden Generationen von Archäolog:innen werden in der Schweiz jedenfalls sehr viel stärker von dieser Thematik betroffen sein.
- Davon abgeleitet sollte in den kommenden Jahren eine vertiefte Grundlagenforschung auf (mikro-)regionaler Ebene forciert werden zur Frage, welche **konkreten** Auswirkungen der Klimawandel auf archäologische Fundstellen (sowie Funde und Archive) in der Schweiz haben wird, v. a. im Sinne von Fallstudien und Modellierungen auf Basis der existierenden archäologischen Inventare und aktuellsten Klimaszenarien. Ergebnis davon könnte beispielsweise eine Art «Klimarisikobewertung» bzw. Vulnerabilitäts-Index für archäologische Denkmäler in der Schweiz sein. Darauf aufbauend muss die Ausarbeitung eines konkreten Massnahmenkataloges (Stichworte: *Monitoring, Reporting & Mitigation*) mit Best-Practice-Beispielen folgen.
- Angebracht erscheint in diesem Zusammenhang – trotz der gut bekannten Sachzwänge im dicht gedrängten Arbeitsalltag – auch ein tatsächliches Nachdenken über und Einbeziehen **der Zukunft** in Entscheidungen der archäologischen Bodendenkmalpflege, im besonderen Masse mit den bereits realen und noch kommenden Auswirkungen des Anthropozäns, die weit über den Klimawandel hinausgehen.¹⁷
- Wichtig ist zudem eine kritische Sensibilisierung der kantonalen archäologischen Fachstellen sowie v.a. der politischen Entscheidungsträger auf die künftigen Szenarien (s.a. Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz (2007), 6.2.). Es muss deutlicher werden, dass die archäologische Substanz auch durch Auswirkungen des Klimawandels vor Zerstörung bedroht ist, was mitunter zusätzliche präventive Massnahmen bzw. Rettungsgrabungen notwendig machen wird (= steigender oder zu priorisierende finanzieller Bedarf). Dem wichtigen Umstand, dass das archäologische Kulturerbe der Schweiz auch eine bedeutende wirtschaftliche Grösse (s. Tourismus) darstellt, ist ebenfalls Rechnung zu tragen. Damit verbunden sein sollte eine intensiviertere Kommunikation und Dialogführung mit den relevanten Stakeholdern und «der Gesellschaft».

Bsp.: Projekt «**Groundcheck**» des Deutschen Archäologischen Institutes, **Podiumsdiskussion** mit Abgeordneten des Deutschen Bundestages, 2022.

¹⁷ Boivin, Crowther 2021

- **Allenfalls wertvoll erscheint eine Unterscheidung von unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen des Klimawandels:** So sind die mittelbaren Folgen langfristig meiner Meinung nach nicht zu unterschätzen bzw. vielleicht sogar noch stärker, insbesondere der politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Druck auf das Kulturerbe, der durch die zweifellos notwendigen Klimaschutzmassnahmen noch zunehmen wird (Energie, Bauen, Verkehr und Mobilität, Ernährung, Landwirtschaft, Freizeit etc.).

Bsp.: Graubünden: schneewarme Winter – riesige Beschneigungsanlagen und Speicherseen für Skigebiete in einem archäologisch völlig unzureichend bekannten alpinen Raum.

Hier bieten sich der Archäologie, neben ernstlichen Nachteilen, allerdings durchaus auch Chancen, neue Allianzen (etwa im Bereich Natur-/Umweltschutz) zu (ver-)suchen und die weit über den wissenschaftlich-archäologischen Wert hinausgehende Bedeutung geschützter archäologischer Fundstellen bzw. archäologischer Kulturlandschaften für den Klimaschutz und die Biodiversität aufzuzeigen (s. a. die Sustainable Development Goals der UNESCO-Agenda 2030). Die beschleunigte Klimakrise ist ohne Zweifel eine der grössten globalen Herausforderungen der Menschheit in diesem Jahrhundert – diese Tatsache sollte auch die Schweizer Archäologie sehr viel stärker berücksichtigen und diesbezüglich so schnell wie möglich einen proaktiven Ansatz verfolgen. Dabei geht es zum einen darum, auf die Bedrohung archäologischer Denkmäler und Daten durch den Klimawandel und die dafür notwendigen (zusätzlichen) Massnahmen hinzuweisen und dies in der täglichen Arbeit besser zu berücksichtigen. Gleichzeitig besitzt die Archäologie ein enormes Potential für die Rekonstruktion bzw. die Entwicklung vergangener Mensch-Umwelt-Klima-Beziehungen und schafft damit auch eine wichtige Verbindung zwischen der Vergangenheit mit der Gegenwart und der Zukunft.



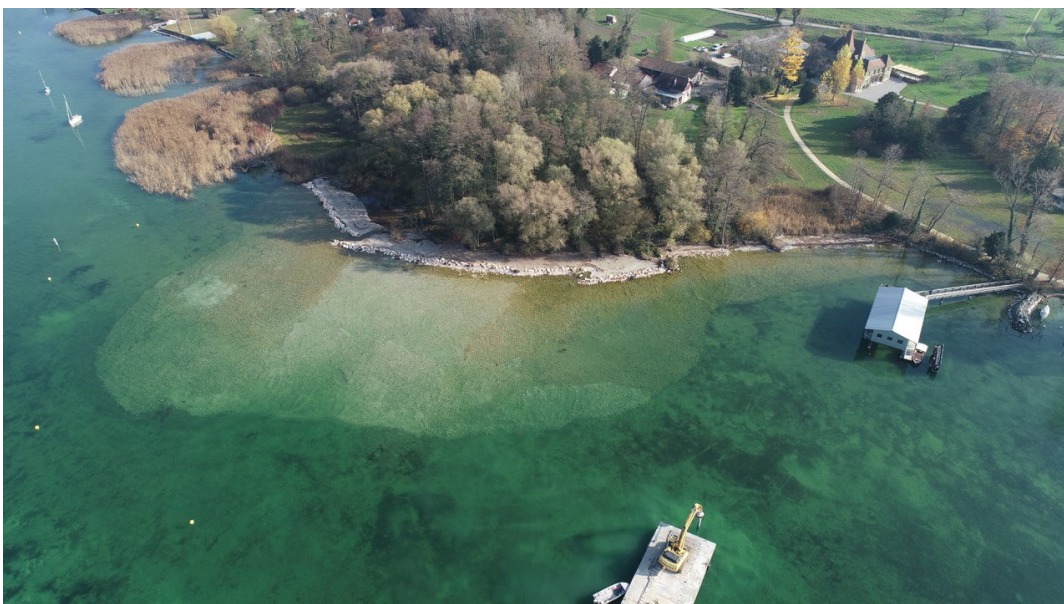
Davos GR, Jakobshorn, 2011 (© Schweizer Luftwaffe)

Auswirkungen des Klimawandels auf die prähistorischen «Pfahlbauten»

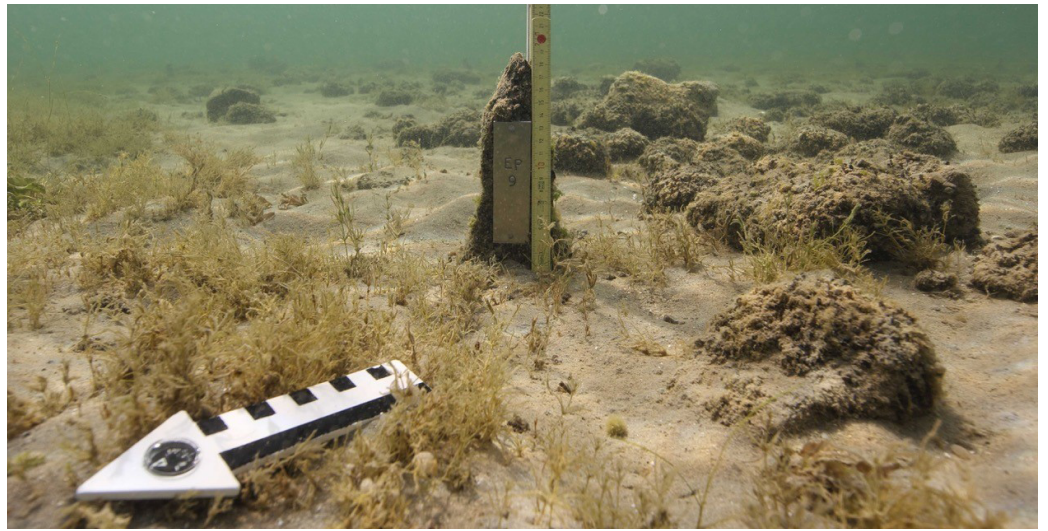
von Stefan Hochuli

4.1 Prähistorische Pfahlbauten

Die prähistorischen Pfahlbauten sind eine der wichtigsten Quellen zur Erforschung der schriftlosen Vergangenheit in Europa und zählen zu den bedeutendsten archäologischen Kulturgütern Europas. Unter Abschluss des Luftsauerstoffs haben sich auch Gegenstände aus fragilen organischen Materialien über Tausende von Jahren erhalten, was die Pfahlbauten von den meisten anderen archäologischen Fundstellen unterscheidet. Die in den «Kulturschichten» erhaltenen Funde und Baureste bieten einen einzigartigen Einblick in die Anfänge der Besiedlung des Alpenraumes und die ersten bäuerlichen Gesellschaften (Sesshaftigkeit, Ackerbau, Tier-Domestizierung, Keramikherstellung, Metallverarbeitung).



Bei der jungsteinzeitlichen Welterbe-Station Sutz-Lattrigen, Rütte BE schützt ein ganzes Massnahmenpaket die Fundstelle vor der fortschreitenden Erosion: Ein 130 langer Wellenbrecher aus Steinblöcken bricht die Wellen und verhindert die fortschreitende Unterspülung des Uferwaldes. Eine landseitig davon eingebrachte Kiesschüttung stabilisiert das erodierte Terrain. Und auf 9'000 m² wurde die Fundstelle mit Kokosmatten, Grobkies und Steinen überdeckt. Es ist zu erwarten, dass die Klimaveränderung die Erosion intensivieren wird. (© Archäologischer Dienst des Kantons Bern, Carlos Pinto)



*Der Klimawandel dürfte zu mehr und heftigeren Stürmen und zu erhöhtem Wellenschlag und zu veränderten und stärkeren Wasserströmungen führen. Ein regelmässiges Monitoring dient dazu, Gefährungen an den Pfahlbauten frühzeitig zu erkennen. Beim Pfahlbau Männedorf-Leuenhaab ZH dient ein Marker an einem aus dem Seegrund ragenden jungsteinzeitlichen Holzpfehl als Erosionskontrolle.
(© Unterwasserarchäologie, Amt für Städtebau Zürich)*

Pfahlbauten kommen im ganzen Alpenraum vor. Die schweizerischen Fundstellen nehmen eine Sonderstellung ein, denn sie werden seit dem 19. Jahrhundert wissenschaftlich erforscht und stellen ein Element der nationalen Identität dar. Seit Juni 2011 zählt eine Auswahl an prähistorischen Pfahlbausiedlungen als Stätten von universeller historischer und wissenschaftlicher Bedeutung zum UNESCO-Welterbe. Die serielle Welterbestätte «Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen» erstreckt sich über die Schweiz, Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und Slowenien. Unter den 111 Fundstellen rund um die Alpen, die als Vertreter von über 1000 Pfahlbauten darin eingeschlossen sind, befinden sich 56 Fundstellen in der Schweiz.

Ein besonderes Merkmal der meisten archäologischen Fundstellen und damit auch der Pfahlbauten ist die Tatsache, dass sie unter der Erd- oder Wasseroberfläche liegen. Sie können daher nur eingeschränkt wahrgenommen werden, was ihren Wert aber nicht mindert. Ihre Bedeutung liegt in erster Linie in ihrer überlieferten Materie und nicht, wie bei einem Baudenkmal, auch in ihrer räumlichen Wirkung.

4.2 Identifizierung der vorhersehbaren Auswirkungen einer Klimaerwärmung

Die gute Konservierung archäologischer «Kulturschichten» gründet in erster Linie in ihrer schützenden Überdeckung durch Sedimente und – für diejenigen mit Feuchterhaltung – in ihrer permanenten Einlagerung in wassergesättigtem Milieu bzw. unter Luftabschluss. In diesen Erhaltungsfaktoren liegen auch die grössten Gefährdungspotentiale.

Übrigens: Das Problem betrifft nicht nur die prähistorischen Pfahlbauten, sondern alle archäologischen Fundstellen mit Feuchterhaltung, unabhängig ihrer Zeitstellung.

4.2.1 Erosion der Sedimentüberdeckung und Kulturschichten

Archäologische Kulturschichten sind durch Sedimentüberdeckung geschützt und somit durch Erosion potentiell gefährdet. Es ist zu prüfen, ob der bereits stattgefunden und gemäss den Klimaszenarien CH2018 noch weiter zu erwartende Klimawandel Auswirkungen auf die Erosion der Sedimentüberdeckung über den Kulturschichten haben könnte.

4.2.2 Austrocknung der Kulturschichten

Die gute Erhaltung organischer Bestandteile in archäologischen Kulturschichten steht in direktem Zusammenhang mit ihrer permanenten Durchfeuchtung. Der Zusammenhang zwischen Höhenlage von Kulturschicht und Grundwasserspiegel ist offensichtlich. Der Einfluss des Oberflächenwassers ist nicht geklärt. Die Feuchterhaltung des organischen Materials in den Kulturschichten ist potentiell durch Austrocknung gefährdet. Es ist zu prüfen, ob der Klimawandel Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Böden hat.

4.2.3

Weitere Gefährdungspotentiale

Nebst Sedimentüberdeckung und Feuchterhaltung dürfte auch der Bodenchemismus (z.B. Karbonat-härte, pH-Wert) einen Einfluss auf die Erhaltungsqualität von Kulturschichten haben. Es ist zu prüfen, ob und inwieweit der Klimawandel Auswirkungen auf den Bodenchemismus hat.

Als mögliche schädigende Folge der Klimaerwärmung auf das Kulturgut unter Wasser sind auch Neophyten oder Neozoen in Erwägung zu ziehen, die aufgrund des wärmeren Wassers neu bei uns überleben und Pfahlköpfe überwachsen, was wiederum zu Substanzverlust führen könnte. Ähnliches könnte man sich für grabende Krebs- und Fischarten vorstellen (das Problem gibt es ja schon, wenn auch nicht in Folge des Klimawandels).

4.3

Bewertung/Quantifizierung der Auswirkungen einer Klimaerwärmung

Es liegt in der Natur der Sache, dass Aussagen in Bezug auf die langfristigen Auswirkungen von Klimaveränderungen (gemäss Prognosen Klimaszenarien CH2018) auf das kulturgeschichtliche Erbe im Boden sehr schwierig zu machen sind, insbesondere weil zu den Vorgängen im Boden mit Bezug zu archäologischen Bodendenkmälern kaum Referenzobjekte vorhanden sind. Es gibt Einzelbeobachtungen und kleinräumige Datenreihen, doch deren Übertragung auf alle Fundstellen basiert auf Annahmen und Plausibilisierung. Gemäss aktuellem Wissensstand können somit über die qualitativen und quantitativen Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die prähistorischen Pfahlbauten nur allgemeine Vermutungen angestellt und Hypothesen formuliert werden. Gefestigte wissenschaftliche Daten und insbesondere Langzeitstudien fehlen weitgehend.

4.3.1

Klärungsbedarf in Bezug auf die Erosion der Sedimentüberdeckung und Kulturschichten

In welchem Ausmass führen die prognostizierten Starkniederschläge (als Folge der erhöhten Wasserdampfkapazität der Atmosphäre) zu vermehrter Erosion von überdeckenden Sedimenten und Kulturschichten (z.B. allgemeine Erosionszunahme, Murgänge)?

In welchem Ausmass führen die prognostizierten Stürme (als Folge der erhöhten Lufttemperaturen bzw. der grösseren atmosphärischen Druckunterschiede) zu vermehrter Erosion bei den direkt am Seeufer und bei den unter Wasser gelegenen Fundstellen (z.B. erhöhter Wellenschlag, stärkere Wasserströmung, veränderte Wind- und Strömungsrichtungen)?

4.3.2

Klärungsbedarf in Bezug auf die Austrocknung der Kulturschichten

Haben allfällige Veränderungen der Gesamtniederschlagsmenge (Zu- oder Abnahme?) einen Einfluss auf den mittleren Jahrespegel von Grundwasser und Seespiegel?

Inwiefern haben die prognostizierte saisonale Sommer-Trockenheit sowie die verstärkte Verdunstung (als Folge der erhöhten Lufttemperaturen) einen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Böden?

Inwiefern hat das Oberflächenwasser einen Einfluss auf die Feuchterhaltung von Kulturschichten?

Falls Oberflächenwasser einen Einfluss auf die Feuchterhaltung von Kulturschichten haben sollte: Inwiefern wird Starkniederschlag weniger gut von den Böden aufgenommen?



*Die erhöhten Lufttemperaturen verstärken die Verdunstung und dürften zusammen mit der prognostizierten saisonalen Sommer-Trockenheit einen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Böden haben. Bei der spätbronzezeitlichen Welterbe-Ufersiedlung Zug-Sumpf ZG wird seit über 25 Jahren monatlich die Höhe des Grundwasserspiegels und damit die Durchfeuchtung bzw. indirekt die Erhaltung der organischen Kulturschichten gemessen.
(© Amt für Denkmalpflege und Archäologie Zug, Stefan Hochuli)*

4.4 Empfohlene Massnahmen

Bevor definiert werden kann, welche allfälligen Massnahmen zum Bestanderhalt ergriffen werden sollten, um diese potentiellen schädigenden Auswirkungen auf archäologische Kulturschichten zu vermeiden oder wenigstens abzuschwächen, müssen erst wissenschaftlich gefestigte Daten zur Identifizierung und Bewertung/Quantifizierung der Auswirkungen erhoben werden. Es werden folgende Massnahmen empfohlen:

4.4.1 Archäologisch-wissenschaftliche Wissenssammlung

Systematische Sichtung der archäologisch-wissenschaftlichen Literatur und Aufbau einer systematisierten Wissenssammlung betreffend Faktoren der Feuchterhaltung von Kulturschichten und den damit verbundenen hydromechanischen Prozessen sowie Erfahrungen von Fundstellen-Schutzmassnahmen.

Beispiele: *Tagungen bzw. Publikationen «archéologie & érosion 1996, 2006 und 2015» / Zeitschrift «Conservation and Management of Archaeological Sites» / Fallstudie «Stefanie Jacomet und Bigna Steiner, Archäobotanik des «Pfyn» (4. Jt. BCE) im Rahmen des Jungneolithikums in Mitteleuropa: Eine Fallstudie der Seeufersiedlung Risch, Oberrisch-Aabach am Zuger See (Kt. Zug), mit spezieller Berücksichtigung der Erhaltungsproblematik», unpubliziert.*

4.4.2 Umfrage betreffend Fundstellen-Zustand-Langzeit-Monitoring und Schutzmassnahmen

Umfrage bei den kantonalen Fachstellen für Archäologie hinsichtlich allfällig bestehender Messstationen und Aufbau zusätzlicher Beobachtungsstationen sowie durchgeführter und geplanter baulicher Schutzmassnahmen.

4.4.3 Umfrage betreffend Umgang der Problematik beim Natur- und Gewässerschutz

Umfrage bei den kantonalen Fachstellen für Naturschutz betreffend Umgang mit der Problematik: Gefahr der Austrocknung unter Naturschutz stehender Feuchtgebiete und geplanter Gegenmassnahmen, existierende Modellierungen zur längerfristigen Entwicklung der Seepegel und Auflistung der Möglichkeiten zu ihrer Regulierung.

4.4.4 Interdisziplinäre Grundlagenforschung betreffend Erhaltungsfaktoren von Kulturschichten

- Einfluss Grundwasser und Oberflächenwasser
- stabile Durchfeuchtung / schleichende Austrocknung
- Kapillarwirkung Böden
- Auswirkungen Oberflächenverdichtung
- Bodenchemismus
- Grundstabilität der Sedimente: Differenzierung zwischen Fundstellenlage am Land (komprimierte Sedimente) und im See (lockere Sedimente)
- Unterschiede zwischen Fundstellen an/in Mooren/Kleinseen und solchen an/in den hydrologisch aktiveren Mittellandseen
- Folgen der Austrocknung auf Strukturbeschaffenheit und Festigkeit der Sedimente
- Bioturbation
- Langzeitbeobachtungen und Trendanalysen der Feuchterhaltung
- Fallstudien bei Fundstellen, die in sich unterschiedliche Wassersättigung aufweisen und bei denen die Entwicklung des Wasserhaushalts in den vergangenen Jahrhunderten bekannt ist
- Zusammenhänge zwischen Seespiegel und extrem unterschiedliche Höhenlagen von Kulturschichten
- Simulation und «in situ»-Experimente betreffend Feuchterhaltung

4.4.5 Rettungsgrabung

Sollte der Schutz einer Fundstelle nicht möglich sein bzw. ist die archäologische Substanz in ihrem langfristigen Bestand gefährdet, ist sie durch eine Rettungsgrabung zu untersuchen. Die archäologische Rettungsgrabung stellt eine irreversible Ersatzmassnahme dar und ist mit erheblichen Kosten verbunden. Die Ausgrabung stellt die archäologisch-historische Information und Fund- und Probenmaterial zwar sicher, zerstört aber das Bodendenkmal «in situ» vollständig, was nicht mit der Idee eines UNESCO-Welterbes vereinbar ist. Zudem kann sie qualitativ immer nur so gut sein, wie die aktuellen Grabungs- und Analyse-Methoden es sind, weshalb sie, wenn immer möglich, zugunsten späterer, besserer Verfahrensweisen aufgeschoben wird.¹⁸

¹⁸ Für inhaltliche Hinweise danke ich Christian Harb, Renata Huber und Jochen Reinhard.

5

Anorganische, poröse Materialien: Mauerwerk, Mörtel, Verputz, Anstriche

von Christine Bläuer

5.1 Aufgabenstellung

Es gilt hier darum die primären Auswirkungen des Klimawandels und der daraus resultierenden Wetterverhältnisse in der Schweiz auf Mauerwerke, Mörtel, Verputze und Anstriche und Objekte zu beurteilen und die sekundären Auswirkungen des Klimawandels und ihre Auswirkung auf die genannten Objekte soweit wie möglich zu antizipieren.

5.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Verwitterung

Es sind höchstens die generellen, direkten Veränderungen des Klimas¹⁹ modellierbar und damit bis zu einem gewissen Grad vorhersehbar. Wie sich dies dann im Einzelnen auf das Wettergeschehen²⁰ an einem bestimmten Ort auswirkt ist erst sehr bedingt abschätzbar.²¹ Noch weitgehend unbekannt und teilweise vermutlich nicht einmal vorhersehbar sind die indirekten Auswirkungen des Klimawandels.²²

¹⁹ Zustand und den Schwankungsbereich von Grössen wie Temperatur und Niederschlag in einer Region über einen Zeitraum von dreissig Jahren. | 01.02.2023

²⁰ Wetter: «Das Wetter ist der Zustand der Atmosphäre und dessen Schwankung über Zeiträume von wenigen Minuten bis mehreren Wochen. Ein einzelnes Ereignis, wie z. B. ein Gewitter, eine Hitzewelle oder ein Kaltfrontdurchgang, ist dem Wetter zuzuordnen.» | 01.02.2023

²¹ Z.B. Bader, Bantle 2004, Frei 2016, MeteoSchweiz: Niederschlag | 01.02.2023, Scherrer et al. 2016

²² Brimblecombe 2018. Er gibt unter anderen das Beispiel erhöhter Ozongehalte, welche als Folge stärkerer Sonneneinstrahlung zu erwarten sind und die chemische Verwitterung von organischen Verbindungen verändern oder beschleunigen.



Megalithmauerwerk aus Findlingssteinen der letzten Eiszeit, TG, Frauenfeld, Historisches Museum, 21.6.2012 (© Christine Bläuer)

Die verschiedenen Quellen scheinen darüber einig zu sein, dass die primären Auswirkungen des Klimawandels grössere Extremwerte der verschiedenen Klimafaktoren erwarten lassen.²³

Verwitterung, auch von Kulturgut, geschieht weitgehend unter dem Einfluss des Wettergeschehens und ist entsprechend je nach geografischer Lage unterschiedlich. Weiter spielt es für die Auswirkung eines bestimmten Ereignisses, z. B. Starkniederschlag, eine grosse Rolle in welchem Zustand sich das Objekt und seine Materialien zum Zeitpunkt des Eintretens des Ereignisses gerade befindet, z. B. Eintreffen des Starkniederschlags nach Trockenperiode oder nach Feuchtperiode, also starke Benetzung des ausgetrockneten oder des bereits feuchten Materials.

Bezüglich der Verwitterung von Kulturgut ist eine weitere offene Frage, ob diese Ereignisse einfach das gleiche Verwitterungsgeschehen wie schon bekannt, aber stärker hervorrufen werden (Annahme Lefevre zit. In Brimblecombe 2018) oder ob bisher unbekannte Arten der Verwitterung zu erwarten sind. Falls die Annahme stimmt, dass sich die Verwitterungsart nicht ändert, sondern nur ihre Intensität grösser wird, folgert Brimblecombe, dass wir nur einfach schneller reagieren müssten und er betont dementsprechend die Wichtigkeit der Instandhaltung und des Unterhalts der Objekte²⁴ (Brimblecombe 2018, S. 26). Allerdings schreibt er weiter dazu: «Dennoch werden einige der durch das Klima verursachten Veränderungen wahrscheinlich so gross sein, dass sie uns in ein neues Regime versetzen werden. Das Klima könnte sich bis zum Ende dieses Jahrhunderts so stark verändern, dass die Veränderungen an bestimmten Orten der Erde grösser sind als je zuvor in der Geschichte der Menschheit.»²⁵

²³ MeteoSchweiz-Veröffentlichungen, Brimblecombe 2018, Scherrer et al. 2016, Viles 2002

²⁴ Instandhaltung und Unterhalt sind in der Schweiz in der Regel nicht subventionierbar, es wäre zumindest zu überlegen ob diese Politik in Anbetracht des Klimawandels noch sinnvoll ist.

²⁵ Übersetzt durch die Autorin

5.3 Definitionen der hier primär betrachteten Objekte und Materialien²⁶

5.3.1 Mauerwerk

Mauerwerke bestehen:

- nur aus Naturstein – Trockenmauerwerk
- nur aus Mörtel - Piseebau (Stampflehm), Stampfbeton, (sowie Beton)
- aus einem Verbund von Mörtel mit Naturstein. Historische Mauerwerke aus Mörtel mit Naturstein können durchgehend gleich aufgebaut sein oder aber z. B. in Schichten/Schalen, je nachdem ergeben sich andere Gefährdungen
- aus einem Verbund von Mörtel mit anderen, anorganischen Mauermaterialien, z. B. Backsteinen oder Zementsteinen
- aus einem Verbund von anorganischen Mörtelmaterialien mit anderen Materialien z. B. Fachwerk aus Holz mit Strohlehm auf einem Faschine-Träger und verputzt mit Kalkputz

²⁶ Es werden vor allem die an historischen Bauwerken (vor ca. 1950) verwendeten Materialien betrachtet. Diese sind in aller Regel anorganisch/mineralisch.

5.3.2 Mörtel/Verputze (Material)

«Verputze und Mörtel sind Baustoffe, die ursprünglich eine weiche, formbare Masse bilden, welche nach dem Anbringen zu einer starren Masse erhärtet. Die meisten historischen Mörtel sind mineralische Baustoffe, die aus anorganischen Bindemitteln (mineralischem Leim), körnigen, mineralischen Zuschlägen (Sanden und Kiesen), Wasser – zur Steuerung der Verarbeitbarkeit und als Reaktionspartner beim Abbinden – sowie manchmal kleinen Mengen fester oder flüssiger Zusätze – zum Anpassen der Mörtel Eigenschaften – gemischt werden. Nach der Verarbeitung im Bauwerk erstarren diese Massen; sie binden ab. Dieses Abbinden geschieht in den meisten Fällen durch eine chemische Reaktion der Bindemittelanteile mit Wasser, Bestandteilen der Luft oder den anderen Mörtelbestandteilen. Somit besteht ein abgebundener Mörtel aus anderen chemisch-mineralogischen Verbindungen als denjenigen, aus welchen seine Ausgangsmischung bestand.»²⁷

5.3.2.1 | Unterscheidung/Klassifizierung von Mörteln

Mörtel werden entweder nach ihrem Verwendungszweck am Bau oder nach dem vorherrschenden Bindemittel unterschieden.

5.3.2.2 | Verwendungszweck der Mörtel an Objekten:

- Piseebau (Stampflehm), Stampfbeton, Beton
- Mauer-, Fugenmörtel von Mauern aus Naturstein
- Verputze als Verkleidung, zum Schutz oder Dekoration der Wand (z. B. Kellenwurf, Wormser, Rauputz, Besenwurf, Sgraffito usw.)
- Verputze als Träger von Wandmalereien (Arriccio, Intonaco)
- Fussböden
- Decken
- Stuck, Stuckmarmor (Scagliola)
- Natursteinimitation mit oder ohne steinhauerischer Bearbeitung
- Mosaik
- Kunstwerke
- Abgüsse
- Flickmörtel für Naturstein oder Mörtelmaterial
- Hintergiess-, Injektionsmörtel
- Etc.

²⁷ Bläuer 2016. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden Lehmmörtel, deren Abbindereaktion einzig aus einer Trocknung besteht. Das Material kann wieder mit Wasser aufgerührt und erneut verarbeitet werden.

5.3.2.3 | Anorganische Mörtel- und Verputzbindemittel:

- Lehm
- Gips
- Kalk
- dolomitischer Kalk
- Puzzolan
- Hydraulischer Kalk
- Romanzement
- Zement
- Sorel- und andere chemische Zemente
- Etc.

5.3.3 Mörtelkomponenten

5.3.3.1 | Zuschläge

Bilden das stabilisierende Gerüst des Mörtels/Verputzes. Manche Mörtel enthalten keine Zuschläge (z.B. Gips, Romanzement). Die Zuschläge spielen meist kaum eine Rolle bei der Verwitterung und werden im Folgenden weitgehend ignoriert (im Betonbau wichtige Ausnahme Alkaliaggregatreaktion²⁸).

5.3.3.2 | Zusätze

Flüssige Zusätze (Kasein, Abbindeverzögerer, Porenbildner, usw.) spielen meist eine Rolle für die Applikation und das Abbinden des Mörtels. Nach dem Abbinden verändern sie das generelle Verwitterungsverhalten des Mörtels. In vielen Fällen geht diese Veränderung in eine ungünstige Richtung.

Feste Zusätze (Stroh, Haare, Kunststofffasern, Metallsplitter) sind meistens dazu da den Mörtel mechanisch zu verbessern, oftmals geht es um die Erhöhung der Zugfestigkeit.

5.3.3.3 | Wasser

Im abgeordneten Mörtel entweder als Wassermoleküle in den Kristallgittern der neu entstandenen mineralischen Phasen vorhanden (hydraulische Bindemittel, Gips) oder nicht mehr vorhanden, da es verdunstet ist. Da wo dieses verdunstete Wasser war, befindet sich im abgeordneten Mörtel ein grosser Teil der Porosität.

²⁸ Astra 8213, Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR). Grundlagen und Massnahmen bei neuen und bestehenden Kunstbauten

5.3.4

Eigenschaften von (anorganischen) Mörteln

Die meisten Mörtel sind porös.

Manche Mörtel sind wasserlöslich – Gips (wurde teilweise auch im Aussenbereich verwendet; bekannte Objekte dazu: Verputz Stadtbachstrasse, Bern; Verputzte Kirche Zweisimmen; Fugendeckmörtel an Bauten aus Freiburger Sandstein, div. Objekte Fribourg)

Lehm ist nicht wasserbeständig (wird ab- oder ausgewaschen), ist deshalb sehr oft verputzt. Kommt an historischen Bauten besonders in Gegenden mit einem geringen Angebot an geeigneten Natursteinen vor z. B. Kaufhaus in Hauptwil TG.²⁹

Dolomitischer Kalk – im Graubünden stark verbreitet.³⁰ Beim Abbinden von dolomitischem Kalkmörtel entstehen wasserlösliche Phasen als Teil des Mörtelbindemittels, die gleichzeitig wasserlösliche Salze sind.

Zement – bildet beim Abbinden ausser den Zementphasen (Calciumsilikathydrat-Phasen, sog. CSH-Phasen, etc.) auch Kalkhydrat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), das wasserlöslich ist, ausgewaschen werden kann und dann als typische Kalksinterkrusten in Erscheinung tritt.

5.3.5

Anstriche und Malereien³¹

- Anstriche ohne organische Zusätze
- Anstriche mit organischen Zusätzen
- Anstriche mit organischen Bindemitteln

5.3.6

Fazit

Wie diese Definitionen erahnen lassen sind Mauerwerke, Mörtel, Verputze und Anstriche äusserst heterogene und vielseitige Materialien, die zudem im Verbund verwendet werden. Die Gefährdungen der Materialien müssen je nach Objektart, Bauweise und Materialverbund abgeklärt werden.

²⁹ Informationen unter map.geo.tg.ch

³⁰ Beispiele Dolomitischer Kalkmörtel: Mauermörtel, Verputze und Wandmalereiträger Kloster Sankt Johann in Müstair (vgl. Caroselli et al. 2019).

³¹ Das Wort Anstrich wird als Überbegriff für Farbaufträge auf Oberflächen verwendet.

5.4

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wetterverhältnisse in der Schweiz

Die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die Wetterverhältnisse sind regional unterschiedlich.

Einige bisher bekannte und publizierte Erkenntnisse und Prognosen zeigen, dass:

- Starkniederschläge in den Niederungen beidseits der Alpen bevorzugt im Sommerhalbjahr fallen obwohl «im Alpenraum der Schweiz gerade im Winterhalbjahr sowohl in historischer Zeit als auch in der jüngsten Vergangenheit immer wieder extreme Niederschläge mit grossen Schadensfolgen gefallen sind.»³²
- die Häufigkeit von Starkniederschlägen zunimmt³³
- an tiefer gelegenen Stationen (bis 700 Meter über Meer) die Niederschläge 1864-2013 generell tendenziell zunehmen, während an Stationen zwischen 700 und 1500 Meter über Meer häufiger Rückgänge registriert wurden³⁴
- die Schneefälle im 21. Jahrhundert in den Alpen deutlich zurückgehen³⁵
- signifikante Veränderungen der Niederschlagsmengen seit 1864 in der Schweiz nur über dem Mittelland anzutreffen sind, die v.a. auf eine Zunahme im Winter zurückzuführen sind. Im Gebiet um den Bodensee sind zusätzlich die Frühlings-Niederschläge angestiegen. Für alle anderen Regionen der Schweiz und in den übrigen Jahreszeiten sind keine signifikante Niederschlagsänderungen feststellbar³⁶
- Trockenperioden häufiger werden, ihre geografische Verteilung aber unklar ist³⁷
- es in der Schweiz Hagel-Hotspots gibt, dass aber bisher kein zeitlicher Trend zur Veränderung zu erkennen ist³⁸
- die Nebelhäufigkeit in der Schweiz tendenziell etwas abnimmt.³⁹

³² Bader, Bantle 2004, S. 36 (übersetzt durch die Autorin)

³³ Scherrer et al. 2016

³⁴ Trends an Stationen | 01.02.2023

³⁵ Frei 2016

³⁶ Entwicklung Temperatur, Niederschlag Sonnenschein | 01.02.2023

³⁷ Klimawandel | 01.02.2023

³⁸ Hagelklimatologie | 01.02.2023

³⁹ Nebel | 01.02.2023



*Überlaufendes Dachentwässerungssystem während des Starkniederschlags vom 26.6.2009 in Fribourg
(© Christine Bläuer)*

Daneben muss auch mit weitgehend unbekanntem und teilweise vermutlich nicht vorhersehbaren indirekten Auswirkungen des Klimawandels gerechnet werden.⁴⁰

Im ICOMOS 2019 werden zusätzliche sekundäre Faktoren genannt, mit welchen zu rechnen ist, die die «Folge von Klimaschutzmassnahmen sowie Klimaschutz- und Anpassungsstrategien» sein können.⁴¹ Die indirekten Auswirkungen werden nachstehend nur berücksichtigt, soweit überhaupt bekannt. Die sekundären Faktoren werden überhaupt nicht berücksichtigt, da es mir nicht möglich erscheint, ihre Relevanz abzuschätzen.



LU, Luzern, Bourbakipanorama, vermuteter Hagelschaden an Wormserputz, 14.07.2015 (© Christine Bläuer)

⁴⁰ Brimblecombe 2018, nennt z.B. erhöhte Ozonwerte der bodennahen Luft und windverfrachteten Staub mit Salzen aus landwirtschaftlicher Tätigkeit.

⁴¹ ICOMOS 2019, Seite 92

5.5 Auswirkungen der veränderten Wetterverhältnisse auf Kulturgut

Klima- und Wetterereignisse	Wetterentwicklung in Folge des Klimawandels in der CH (wie, wo und zu welchen Jahreszeiten)	was bedeutet das für die Verwitterung (generell)	was bedeutet das für die Verwitterung insbes. poröser anorganischer Materialien an historischen Objekten
Temperaturerhöhung	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Werte sowohl für die minimalen als auch maximalen Temperaturen pro Tag/Monat/Jahr überall in der Schweiz ⁴² • Saisonal und regional unterschiedlich ⁴³ • Veränderte Waldbrandgefahr und allgemeine Gefahr von Feuer? • Auswirkung auf Lawinenhäufigkeit? Neue Orte mit Lawinengefahr? 	Viele chemische Reaktionen laufen bei höheren Temperaturen schneller ab.	<ul style="list-style-type: none"> • Beispiel für schnellere Reaktion: Lösen vieler Salze ... • Beispiel für langsamere Reaktion: Entstehung von Zinnpest ...
Auftauen des Permafrosts	Rutschungen/Bergstürze etc., wo früher keine Gefährdung bestand	Gefahr von Baugrundinstabilität, Bergstürzen, Hangrutschen usw.	kein direkter Einfluss auf die Materialalterung, aber statische und mechanische Zerstörungen
Frost-Tau-Zyklen	<ul style="list-style-type: none"> • «Schweizweit gibt es immer weniger Frosttage.» ⁴⁴ • Hier wird zusätzlich vermutet: Häufigere Frost-Tau-Wechsel sind in Zukunft da möglich, wo es früher nie auftaute, also in höheren Lagen als früher (betrifft vermutlich nur wenige historische Objekte?), resp. da, wo es nur ein Frost-Tau-Zyklus pro Jahr gab (den ganzen Winter über gefroren; auftauen im Frühling/Sommer) und wo es neu mehrere Frost-Tau-Zyklen pro Jahr geben kann, weil es zwischendurch taut. ⁴⁵ 	Frostsprengrung steht ausschliesslich in porösen Materialien und nur wenn diese zum Zeitpunkt des Gefrierens nass waren (eine gewisse Porenfüllung mit Wasser aufwiesen).	Frostschäden entstehen ab einer bestimmten Füllung der Poren mit Wasser, wobei diese Porenfüllung je nach Material, Wasserangebot und der geometrischen Anordnung seiner Porosität unterschiedlich ist. Poröse Materialien sind deshalb unterschiedlich frostgefährdet. Eine einfache generelle Regel darüber, welche Materialien im Einzelnen gefährdet sind und welche nicht, gibt es nicht.

⁴² Klimawandel Schweiz | 01.02.2023

⁴³ Veränderungen von Temperatur und Niederschlag nach Saison und Regionen der Schweiz | 01.02.2023

⁴⁴ Hitzetage, Frosttage und andere Indikatoren | 01.02.2023

⁴⁵ S.a. Sesana 2021

Klima- und Wetterereignisse	Wetterentwicklung in Folge des Klimawandels in der CH (wie, wo und zu welchen Jahreszeiten)	was bedeutet das für die Verwitterung (generell)	was bedeutet das für die Verwitterung insbes. poröser anorganischer Materialien an historischen Objekten
Sonnenscheindauer	<ul style="list-style-type: none"> • Zunahme vor allem in tieferen Lagen, d.h. im Mittelland und im Unterwallis ⁴⁶ • fast unverändert in den Bergen 	<p>Bei Zunahme:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stärkere und häufigere Erwärmung von Materialoberflächen, grössere/häufigere thermische Dilatation • Stärkerer Abbau UV-empfindlicher Materialien. • Mehr Ozon in Bodennähe ⁴⁷, was die Korrosion von organischen Verbindungen fördert 	<ul style="list-style-type: none"> • Die meisten traditionellen, anorganischen, mineralischen Materialien sind davon nicht betroffen. • Carrara und ähnliche Marmore zeigen aufgrund häufigerer Sonnenbestrahlung und dadurch oberflächlicher Erwärmung vielleicht grössere Verwitterung in Form von Verbiegungen oder zuckerartigem Zerfall. Dieser Effekt tritt möglicherweise in Nebelgebenden verstärkt auf. • Ausbleichen von manchen Pigmenten, rascherer Abbau von organischen Anstrichbindemitteln durch mehr UV-Strahlung und höhere Ozonwerte. • Rascherer oberflächlicher Abbau klassischer Hydrophobiermittel durch mehr UV-Strahlung und als Folge davon schnellerer mikrobieller Befall von porösen Materialoberflächen im Aussenbereich. ⁴⁸
Schnee	<ul style="list-style-type: none"> • In der Schweiz sind in Zukunft generell weniger Schneefälle zu erwarten. ⁴⁹ 	An Bauten aus porösen Materialien stehen Frostschäden oft im Zusammenhang mit Schneeablagerungen.	<ul style="list-style-type: none"> • Weniger durch Schneeablagerungen verursachte Frost-Verwitterung
Hagel	Bisher kein zeitlicher Trend zur Veränderung der Hagelhäufigkeit oder -intensität, aber es gibt in der Schweiz Hagel-Hotspots. ⁵⁰	keine Veränderung	Mechanische Schäden an Materialoberflächen
Trockenperioden	<ul style="list-style-type: none"> • Die Trockenperioden haben sich schweizweit unterschiedlich entwickelt. In einigen Gebieten (wie z. B. Genf und Locarno) sind die Trockenperioden länger geworden. Basel zeigt das Gegenteil und in St. Gallen lässt sich keine langfristige Veränderung feststellen. ⁵¹ • Waldbrandgefahr und allgemeine Gefahr von Feuer? 	?	<p>Zunahme der Trockenperioden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • evtl. relevant für Lehm und tonig gebundene Sandsteine (z. B. Molasse grise de Lausanne), die durch zu starkes Austrocknen zerfallen können. <p>Auswirkungen auf salzbelastete Materialien unklar, längeres und dadurch stärkeres Austrocknen kann u. U. zum Ausblühen von Salzen führen, welche bei feuchteren Verhältnissen nicht kristallisieren würden. Falls aber auch während der Trockenperioden die relativen Luftfeuchtigkeiten nachts ansteigen, dürfte dies zum «Feuchthalten» der Salze genügen, so dass hier kein Einfluss zu erwarten wäre.</p>

⁴⁶ Räumliche Daten Sonnenschein | 01.02.2023

⁴⁷ Brimblecombe 2018

⁴⁸ Bläuer Böhm 2005

⁴⁹ Frei 2016

⁵⁰ Hitzetage, Frosttage und andere Indikatoren | 01.02.2023

⁵¹ Hitzetage, Frosttage und andere Indikatoren | 01.02.2023

Klima- und Wetterereignisse	Wetterentwicklung in Folge des Klimawandels in der CH (wie, wo und zu welchen Jahreszeiten)	was bedeutet das für die Verwitterung (generell)	was bedeutet das für die Verwitterung insbes. poröser anorganischer Materialien an historischen Objekten
Niederschläge	<p>Laut MeteoSchweiz ⁵²:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zunahme in tieferen Lagen bis 700müM (statistisch noch ungesicherter Trend) • Abnahme in höheren Lagen 700-1500 müM (statistisch noch ungesicherter Trend) <p>Bader & Bantle 2004:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niederschläge bevorzugt im Sommerhalbjahr • Starke Treiber der Verwitterung von porösen Baustoffen sind Feucht-Trocken-Wechsel. Werden diese häufiger? Wo? 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchtigkeit ist generell an vielen Verwitterungsvorgängen beteiligt. • Regenwasser wird an Bauten abgeleitet, also kanalisiert. Versagt diese Ableitung punktuell, so kommt es unterhalb dieser Stellen zu (plötzlichem) grossem Wassereintrag, was an porösen Baumaterialien aller Art rasch grosse Schäden verursachen und langfristige negative Folgen haben kann. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelmässig wiederkehrende oder gar kontinuierliche Durchnässungen fördern den Zerfall. Aber gut trocknende Materialien verwittern meistens deutlich weniger schnell als langsam trocknende. Beschichtungen inkl. Hydrophobierungen, dichte oder sog. «diffusionsoffene» Anstriche, be- oder verhindern die rasche Austrocknung. <p>Mehr Feuchtigkeit führt zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tieferem Eindringen der Feuchtigkeit in das poröse Material und damit zur Verteilung der vorhandenen Salze in tiefere Zonen im Material. ⁵³ • Verstärkte Mobilisierung von Salzen in vielen porösen Baumaterialien • Lehm oder Gips sowie Bindemittelbestandteile von dolomitischem Kalk, hydraulischer Kalk und Zement werden relativ rasch ab-/ausgewaschen, wenn direktem Regen ausgesetzt <p>Weniger Feuchtigkeit führt zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • grösserer Austrocknung des Steins oder Mörtels und damit Kristallisation von Salzen, die bei höheren Feuchtigkeitsgehalten nicht kristallisieren würden? • Lehm und tonig gebundene Sandsteine (z. B. Molasse grise de Lausanne) zerfallen durch zu starkes Austrocknen
Starkniederschläge	<ul style="list-style-type: none"> • Sowohl Häufigkeit als auch Intensität der Starkniederschläge nehmen in der Schweiz in Zukunft zu. ⁵⁴ • Starkniederschläge in den Niederungen beidseits der Alpen bevorzugt im Sommerhalbjahr. ⁵⁵ • Alpensüdseite weist mehr Starkniederschläge auf als Alpennordseite. ⁵⁶ 	<p>Regenwasser wird an Bauten abgeleitet, also kanalisiert. Versagt diese Ableitung wegen plötzlicher zu grosser Wassermengen punktuell, so kommt es an diesen Stellen zu (plötzlichem) grossem Wassereintrag, was rasch grosse Schäden verursacht und langfristige Schäden nach sich ziehen kann.</p>	<p>s. Niederschläge oben</p>
starke Windereignisse	<p>Für die Schweiz nichts dazu gefunden</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gefährdung von beweglichen Teilen, wie Dächer, Abdeckungen von Mauern, ... 	<p>Starken Winde gekoppelt mit Niederschlag (s.o.) erhöht die eingebrachten Wassermengen und damit das Schadenspotential</p>
Nebel	<p>MeteoSchweiz ⁵⁷:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Nebelhäufigkeit nimmt in der Schweiz tendenziell etwas ab. • Nebel betrifft vor allem das Mittelland. 	<p>es ist eher mit einer Abnahme des Einflusses zu rechnen.</p>	<p>Je mehr Nebel, desto intensiver ist die trockene Deposition von Partikeln aus der Luftverschmutzung auf Materialoberflächen. Raue und alkalische Materialoberflächen sind stärker betroffen.</p>

⁵² Niederschlag | 01.02.2023

⁵³ McCabe et al. 2013; sie stellen aber fest, dass viele Fragen noch ungelöst sind.

⁵⁴ Scherrer et al. 2016

⁵⁵ Bader, Bantle 2004

⁵⁶ Bader, Bantle 2004

⁵⁷ Nebelhäufigkeit und ihre Änderung in den vergangenen Jahren | 01.02.2023

5.6 Vorläufige Folgerungen

Materialverwitterung entsteht aus dem Zusammenspiel innerer und äusserer Faktoren. Innere Faktoren sind die Materialeigenschaften wie Porosität, Löslichkeit, thermische oder hydrische Dilatationsfähigkeit etc., äussere Faktoren sind die Umgebungsbedingungen, Wetterfaktoren wie Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Nebel, Hagel, Trockenheit. Für die konkreten Auswirkungen des Zusammenspiels der inneren und äusseren Faktoren kommt es bei einem Ereignis (z. B. Niederschlagsereignis) nicht nur auf die Dauer der Interaktion, sondern auch auf den Vorzustand des Materials vor dem Ereignis an (Beispiel: ein Frosteinbruch unmittelbar nach einem Niederschlagsereignis hat nicht die gleichen Auswirkungen, wie nach einer Trockenperiode).

Durch den Klimawandel werden die äusseren Faktoren beeinflusst/verändert. Allerdings geschieht dies regional unterschiedlich, so dass sich manche Faktoren an einem Ort gerade umgekehrt zur Veränderung an einem anderen Ort ändern (Beispiel: die Niederschläge in den Bergen nehmen tendenziell eher ab und in tieferen Lagen eher zu⁵⁸).

Generell wird es durch den Klimawandel schwieriger von den Beobachtungen der in der Vergangenheit entstandenen Verwitterungserscheinungen auf die Zukunft zu schliessen. Eine Lösung des Problems kann sein, von den Erfahrungen von Ländern zu lernen, wo bereits die Bedingungen herrschen, die bei uns zu erwarten sind.⁵⁹ Das Problem dabei ist, dass diese Länder vermutlich andere Baumaterialien und Bauweisen verwendet haben. Eine andere Möglichkeit, das Problem zu lösen, wäre zu versuchen, von historischen Zeiten zu lernen, wo bereits ähnliche wie die zu erwartenden Bedingungen geherrscht haben, also lernen anhand der Verwitterungsgeschichte an Objekten.

Viele negative Folgen der Verwitterung liessen sich an Objekten aus anorganischen porösen Baumaterialien durch richtigen (Bau-) Unterhalt vermeiden oder doch verringern, aber ausgerechnet solche Massnahmen werden in der Schweiz nur in Ausnahmefällen durch die öffentliche Hand subventioniert.

An historischen Bauten in der Schweiz kommen sehr verschiedene anorganischen porösen Materialien vor. Für die meisten davon ist ihr Verwitterungsverhalten in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen nur sehr eingeschränkt bekannt. Solche Kenntnis wäre aber nötig, um die negativen Auswirkungen von Veränderung in den Umgebungsbedingungen auf den Zerfall der Materialien einzuschätzen und auf dieser Grundlage nachhaltige Massnahmen zu Verzögerung des Zerfalls zu ergreifen. Hier besteht ein grosser Forschungsbedarf.

⁵⁸ Niederschlag | 01.02.2023

⁵⁹ Brimblecombe 2018

Glasmalereien im Klimawandel

von Stefan Trümpler

6



*Glaskorrosion und Verlust von Schwarzlotmalerei: Einfluss von Feuchte und erhöhten Oberflächentemperaturen.
Glasgemälde von etwa 1348 (Fragment mit Maria und Christkind) und 1926 in der Kollegiatkirche von Romont (FR)
(© Jean-Louis Donzallaz)*

6.1 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf künstlerisch gestaltete Glasfenster und Glasmalereien

6.1.1 Für die Erhaltung von Glasmalereien relevante klimatische Veränderungen

Ausgehend von den Klimaszenarien CH2018 ist zu erwarten, dass die folgenden Entwicklungen negative Auswirkungen auf die langfristige Erhaltung von Glasmalereien haben können: erhöhte Temperaturen im Sommer (Mittel- und Höchstwerte), stärkere Schwankungen zwischen Trockenheit im Sommer und Feuchte im Winter, höhere Feuchtigkeit im Winter (vermehrte Niederschläge), verstärkte Windereignisse (Stürme) und Hagel, vermehrte Sonneneinstrahlung mit höherer IR- und UV-Einstrahlung. Gemäss CH2018 sind allerdings für Stürme und Hagel keine verlässlichen Aussagen möglich, die Sonneneinstrahlung nimmt, nach einer durch die Luftverschmutzung bedingten Periode mit reduzierter Einstrahlung, heute wieder zu.

6.1.2 Mögliche Auswirkungen auf die Erhaltung von Glasmalereien

Grundsätzlich sind Glasfenster, die mit traditionellen oder neueren Techniken hergestellt wurden, darauf angelegt, die klimatischen Bedingungen an einem Bauwerk zu ertragen. Technische und materielle Mängel können jedoch seit jeher durch Klimaeinflüsse verstärkt werden und dieses Kulturgut gefährden. Dies gilt auch für Methoden und Materialien, die bei Restaurierungen eingesetzt werden, wie Klebstoffe, Dichtungsmaterialien und Kaltfarben.

Höhere *Temperaturen* und grössere Temperaturschwankungen können durch die Ausdehnung oder die Erwärmung von Materialien Schäden verursachen. Bei bemalten Glasfenstern entstehen durch höhere Temperaturen und Amplituden Spannungen in

den glasartigen Malschichten (Schwarzlotbemalungen, Emailen/Schmelzfarben, ungebrannte Farbaufträge) sowie zwischen den Bemalungen und dem Trägerglas. Dies kann zur Ablösung von Malschichten führen. Dasselbe gilt auch für verkrustete Ablagerungen von Korrosionsprodukten, Kalk und Staub sowie von Leinölrückständen von der Verkittung. Wärmeausdehnungen wirken auf die Metallstrukturen von Glasfenstern ein, d.h. die Bleinetze und deren Verstärkung mit Windstangen, Metallrahmen und Wind- oder Quereisen. Die Verbleiungen können durch die Bewegungen reissen oder brechen, umso mehr als die Verkittungen zwischen den Bleiruten und den Gläsern schneller und stärker spröde werden und zerfallen. Die Kittfugen an den Rahmen erhalten Risse und lösen sich ab. Auch bei anderen Gestaltungstechniken, etwa bei Betonverglasungen und Materialverbindungen durch Glas-Fusing oder Klebungen, können stärkere Erwärmungen und Dilatation zu vermehrten Schäden führen.

Von erhöhter *Feuchtigkeit* sind historische Gläser und Glas-Auftragsfarben aufgrund ihrer Zusammensetzung bedroht. Das Glasgemenge kann Bestandteile enthalten, die durch Wasser angegriffen werden. Vor allem an mittelalterlichen Glasmalereien können schwere Verwitterungsschäden entstehen, mit Kratern, Korrosionsschichten oder Krakelee. Während dies besonders die äusseren Oberflächen betrifft, entstehen ähnliche Schäden durch Kondensationsfeuchte auf der Innenseite und an den besonders wichtigen und fragilen Bemalungen. Metallische Elemente im Glas können oxydieren und Glasmalereien braun oder schwarz verfärben. Eisenbewehrungen und sogar Verbleiungen korrodieren vermehrt und können durch Aufschwellen Schäden an den Glasflächen erzeugen. Dies ist auch eines der Hauptprobleme bei eisenbewehrten Betonverglasungen.

Mechanische Einwirkungen wie Stürme mit starkem Winddruck und Hagel sind natürlich substanzielle Bedrohungen insbesondere von Bleiverglasungen.

IR- UV-Strahlung und auch sichtbares Licht können organische Stoffe, die bei Restaurierungen eingesetzt werden, gefährden (Klebstoffe, Füllungen, Retuschen). Sie können indirekt auch dazu führen, dass an gestalteten Glasfenstern zum Schutz von Objekten in den Innenräumen unsachgemässe Massnahmen durchgeführt werden (Klebefolien).

6.1.3 Schutzverglasungen

Aussenschutzverglasungen gehören heute oft zu den Fenstersystemen, die historische Glasmalereien einschliessen. Sie sollten deshalb im Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen ebenfalls mitberücksichtigt werden. Die in der Regel an der Aussenseite angebrachten Verglasungen werden als indirekte Massnahme gegen die oben aufgezählten Gefährdungen eingesetzt. In jüngerer Zeit geschieht dies aber auch nach der meist fraglichen Vorstellung, dass damit Heizenergie gespart werden könne. Schutzverglasungen können jedoch selbst auch gewisse Nachteile und Gefährdungen für die Glasmalereien und Bauwerke mit sich bringen, durch ihre ästhetische Wirkung, Substanzverluste durch die Rahmenkonstruktionen, mikroklimatische Einflüsse auf die gläsernen Kunstwerke oder Veränderungen des Raumklimas.

Falls in Zukunft im Winter höhere durchschnittliche Feuchtigkeitswerte und vermehrte Niederschläge auftreten, könnte dies ein Grund sein für den häufigeren Einsatz von Schutzverglasungen gegen Nässe von aussen und Kondensation auf den Glasmalereien. Gleichzeitig kann die Gefahr von Feuchteschäden an der inneren Raumschale ansteigen, wenn die Fenster zu dicht werden und die Konstruktionen eine Belüftung verhindern. Andererseits wird man vermehrt darauf achten müssen, dass sich bei höheren Sommertemperaturen die Glasmalereien hinter Aussenschutzverglasungen nicht noch stärker erhitzen.

Aussenschutzverglasungen können schliesslich auch als Schutz gegen Windstösse und Hagel dienen, wobei gegen letztere auch Gitter aus Metall (oder Kunststoff) traditionell bewährte Mittel sind. Wenn es darum geht, zum Schutz von lichtempfindlichen Ausstattungselementen in den Innenräumen den Lichteinfall zu reduzieren und die UV- und IR-Strahlung auszufiltern, können für Aussenschutzverglasungen Spezialgläser mit entsprechenden Eigenschaften verwendet werden.



Zersetzung von Epoxy-Doublierungen von etwa 1970 an einem Glasgemälde des Kreuzgangs von Wettingen
(© Stefan Trümpler)

6.2 Bewertung und Priorisierung möglicher Auswirkungen

Die möglichen Auswirkungen unterschiedlicher klimatischer Einflüsse lassen sich schon seit jeher an Bauwerken beobachten, die an mehreren Seiten technisch vergleichbare Glasmalereien aufweisen. Die Beanspruchung von Kunstverglasungen ist auf der Südseite durch die erhöhten Temperaturen und die Lichteinstrahlung am stärksten. Die Metallteile nehmen durch die dauernden Dilatationsbewegungen Schaden, die organischen Materialien (wie auch Fensterkitt) durch das Sonnenlicht. Durch die Schwächung der Metallstruktur und der Befestigung der Glasmalereien in den Fenstern kommt es zu Brüchen und Verlusten von Gläsern. Die Gefährdung durch Spannungen in den Glas-Bemalungs- und Ablagerungsschichten wurde bereits erwähnt. Es ist zu erwarten, dass sich solche Prozesse auch durch die höheren Temperaturen aufgrund des Klimawandels verstärken. Sie stellen wohl gleichzeitig das wahrscheinlichste und das grösste Schadenspotenzial für Glasmalereien dar.

An den Nordseitenfenstern ist in der Regel die Feuchtigkeit das Hauptproblem. Korrosion von Glas und Metallen ist häufiger, Schäden an der Bemalung und Ablagerungen durch Kondenswasser, biologischer Befall, Eisbildung. Falls allgemein feuchtere Winter zu erwarten sind, könnten solche Schadenentwicklungen zunehmen. Allerdings wirken sich Feuchteinflüsse vor allem auf Glasmalereien aus dem Mittelalter mit besonders verwitterungsanfälligen Gläsern aus, nahezu alle Verglasungen mit diesen Eigenschaften sind jedoch heute in der Schweiz durch speziell konzipierte Aussenverglasungen geschützt.

Im Westen stellen wir am häufigsten Schäden durch Stürme und Hagel fest. Solche Ereignisse haben oft verheerende Auswirkungen auf ungeschützte Glasmalereien. Vereinzelt starke Regenfälle führen zwar nicht zu den vorgehend erwähnten Feuchteschäden, aber durch gelockerte Gefüge etwa von Bleiverglasungen kann Regenwasser ins Innere dringen, bei gleichzeitig starkem Winddruck noch vermehrt. Es wird sich zeigen, ob solche Wetterereignisse mit dem Klimawandel ebenfalls zunehmen – falls ja, wäre dadurch unser Kulturgut an gestalteten Glasfenstern in bisher ungewohntem Ausmass bedroht.

6.3 Empfehlungen

6.3.1 Beobachtung, Erfassung, Forschungsbedarf

So wie der Klimawandel beobachtet und erforscht wird, sollte auch die Zustandsentwicklung unseres Kulturguts im Auge behalten und analysiert werden. Dafür ist es entscheidend, dass wir weiterhin auf langfristig gesicherte Kompetenzen zählen können. Auf dem Gebiet der Glasmalerei bieten langzeitige Wartungsplanungen für bedeutende Objekte die Gewähr dafür, dass Veränderungen erfasst werden. Ferner stehen in der Schweiz mit dem Schweizerischen Fachverband für Glasmalerei und dem Vitrocentre Romont eine Berufsorganisation und ein Kompetenzzentrum zur Verfügung, die entsprechende Aufgaben übernehmen können. Für den Austausch und die Koordination von Forschungen und Massnahmen werden die entsprechenden Fachgruppen in internationalen Organisationen wie dem Corpus Vitrearum oder ICOMOS sorgen.



Vernichtender Hagelschaden von 2009 an mehrschichtigen Glasmalereien von Alexandre Cingria, Kollegiatkirche von Romont FR um 1940 (© Stefan Trümpler)

6.3.2 Vorbeugende Massnahmen

Neben sorgfältigen Beobachtungen können Massnahmen helfen, möglichen Gefährdungen des Kulturguts Glasmalerei vorzubeugen. Nach wie vor wird sehr wichtig sein, dass Glasmalereien ständig gewartet und gepflegt werden. Gerade den zu erwartenden Problemen durch erhöhte Temperaturen kann man dadurch frühzeitig entgegenwirken: regelmässige Ertüchtigung der vorhandenen Befestigungs- und Strukturelemente von Glasmalereien, nachkitten, eventuelle Sicherungen gefährdeter Bemalungen.

Es ist besonders in Anbetracht des grossen Schadenpotenzials zu vermuten, dass Glasmalereien vermehrt vor Hagel und Stürmen geschützt werden müssen. Metallgitter und bruchsichere Schutzscheiben erfüllen diesen Zweck, es hat sich aber auch gezeigt, dass Netze aus Kunststoff wirksam sein können.

Ob mit konservatorisch konzipierten Schutzverglasungen Gefährdungen durch die erwartete Klimaentwicklung abgewendet werden können, sollte unseres Erachtens in Zukunft aufmerksam geprüft werden. Dabei muss jedem Einzelfall wohl besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es ist denkbar, dass den günstigen Auswirkungen auf Feuchteprobleme und als mechanischer Schutz die Gefahren höherer Temperaturen hinter zusätzlichen Glasschichten entgegenstehen. Wenn Schutzverglasungen geplant werden, verdient daher in Zukunft ihre Belüftung wohl spezielle Beachtung.

6.3.3 Untersuchungen

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit der Erhaltung von Glasmalereien und ausgehend von den Klimaszenarien können hypothetische Tendenzen postuliert werden, wie sich die Gefährdung unseres Kulturguts aus Glas am Bau entwickeln könnte. Wir wissen zwar sehr viel über die Schadenprozesse an Glasmalereien an sich, aber wie sich diese durch die erwarteten Klimaszenarien – wie zum Beispiel um eine gewisse Anzahl Grade erhöhte Temperaturen – konkret auswirken werden, auch in Bezug auf noch unbekannt, mögliche Interaktionen zwischen neuen klimatischen Entwicklungen, scheint noch weitgehend offen zu sein. Dasselbe gilt für Schutzmassnahmen, vor allem Schutzverglasungen. Relevante Fragen sollten in Zukunft ausgehend von systematischem Monitoring der Werke gezielt untersucht werden.

6.3.4 Zusammenfassung

Bereits eingetretene und zu erwartende Klimaveränderungen werden sehr wahrscheinlich Auswirkungen auf die Erhaltung gestalteter Glasfenster haben. Es ist möglich, dass die Veränderungen zunächst nicht in drastischer Weise und eher in langzeitiger Perspektive Schäden hervorrufen. Bisherige Erfahrungen, beispielsweise die typischen Unterschiede der Erhaltung von Glasfenstern an der Sonnen- Schatten- und «Wetterseite» von Gebäuden oder in wärmeren Gegenden deuten auf mögliche Gefährdungsszenarien hin. Bei erhöhten Temperaturen und häufigeren Stürmen und Hagel dürften die grössten Gefahren liegen. Es scheinen jedoch wissenschaftliche Erkenntnisse zu fehlen, die dazu fundierte Voraussagen erlauben. Die systematische Beobachtung und Pflege der Werke dürfte immer wichtiger werden. Schutzverglasungen könnten als indirekte und präventive Konservierungsmassnahme weiterhin gefragt sein, aber die Anforderungen, die sie erfüllen müssen – insbesondere hinsichtlich der Umgebungstemperaturen von Glasmalereien – könnten sich verändern. Relevant sind nicht nur die Fenster selbst, sondern auch ihre Wirkung auf die Innenräume. Schliesslich besteht Forschungsbedarf zu möglichen neuen Gefährdungen.



Bauphysikalische Beeinflussung auf die historische Gebäudesubstanz

von Ernst Baumann

7.1 Auswirkungen

Klimatische Auswirkungen auf die historische Gebäudesubstanz durch:

- Mehr Hitzetage (Tage mit Temperaturen über 30°C)
- Weniger Frosttage (Tage mit Temperaturen unter 0°C)
- Trockenere Sommer
- Weniger aber dafür heftigere Niederschläge
- Mildere Winter.

7.2 Bewertung

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die historische Gebäudesubstanz werden unter Ausschluss von Ereignissen, welche die Beeinträchtigung der Stabilität oder Statik eines Gebäudes zur Folge haben könnten (durch Hochwasser, Murgänge, Frosteinwirkung usw.) betrachtet.

Nebst den Auswirkungen auf die Gebäudesubstanz sind diese auch auf das Innenklima und die Inneneinrichtungen zu beurteilen.



*Stiftsbibliothek St. Gallen hohe Innentemperaturen an Hitzetagen
(© Stiftsbibliothek St. Gallen)*

7.3 Beurteilung

In den letzten beiden Jahrzehnten ist es im Jahresdurchschnitt im Vergleich zu den vorhergehenden Jahrzehnten deutlich wärmer geworden. Auf der anderen Seite haben die Jahresniederschlagsmengen abgenommen. Häufiger traten Starkregen und Böen auf und das Klima wurde generell feuchter. Ein Hinweis für die klimatische Veränderung ist die Feststellung der mit der Befindlichkeit von Orgeln in Kirchen vertrauten Fachpersonen, dass in den letzten beiden Jahrzehnten eine Zunahme der Schimmelpilzvorkommen in den Orgelgehäusen festzustellen ist.

Am wahrscheinlichsten ist eine Auswirkung des Klimawandels durch andauernde Hitzetage und starke Niederschläge absehbar.

Länger andauernde Hitzetage werden in erster Linie nicht die Gebäudesubstanz, sondern durch hohe Innentemperaturen die Nutzer und die Inneneinrichtungen belasten. Befinden sich die historischen Gebäude in Kernzonen von Städten und Dörfern sind die Auswirkungen von andauernden Hitzetagen wesentlich grösser als bei solchen von exponierten und freistehenden Gebäuden.

Zur Abminderung der hohen Innentemperaturen sind je nach Klimavorgaben verschiedene Möglichkeiten zu prüfen. Sie reichen von baulichen Sonnenschutzmassnahmen bis zur aktiven Klimaoptimierung von Innenräumen.

7.4 Massnahmen

Es wird zwischen Massnahmen an der Gebäudesubstanz und den Auswirkungen auf das Innenklima und die Inneneinrichtungen unterschieden.

7.4.1 Gebäudesubstanz

Einwirkung	Massnahmen
Sonneneinstrahlung und hohe Aussentemperaturen	Abminderung der Wärmeeinträge durch: <ul style="list-style-type: none"> • Beschattung mit Bepflanzungen • Bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen an Fenstern ⁶⁰ • Fensterglasersatz durch Sonnenschutzgläser • Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit ⁶¹
Schlagregen	<ul style="list-style-type: none"> • Abdichtungen an Fassaden und Fenstern (auch gegen vertikal steigende Wasserinfiltration) • Sicherungsmassnahmen bei Dächern und Fassaden • Wassereintrag vermindern und -austrag erhöhen • Abflüsse kontrollieren allenfalls Querschnitte vergrössern

7.4.2 Innenklima und Inneneinrichtungen

Einwirkung	Massnahmen
Sonneneinstrahlung und hohe Aussentemperaturen	<ul style="list-style-type: none"> • Nachtkühlung durch Öffnungen gegen aussen unter Einbezug von kühleren Innenräumen ⁶² • Automatischer Betrieb der Nachtkühlung • Temporärer oder permanenter Einbau einer aktiven Klimaoptimierung. • Fensterglasersatz durch Sonnenschutzgläser • Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit zur Abminderung des Wärmeeintrages durch Wärmedämmung und Masse (z.B. an Trennbauteilen gegen Estrich)

7.5 Fazit

Wenn auch aus bauphysikalischer Sicht klimabedingte Schäden an der historischen Gebäudesubstanz nicht absehbar sind, können vor allem die Auswirkungen von länger andauernden Hitzetagen das Innenklima und die Inneneinrichtungen eine erhebliche Belastung bewirken. Dabei bestimmen die Anforderungen die zu wählenden Massnahmen.

⁶⁰ Ob bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen zweckmässig sind, kann nur objektbezogen unter Einbezug von übrigen Massnahmen gewichtet und beantwortet werden. Es muss eine Interessenabwägung zwischen optischer Beeinträchtigung und der angestrebten Verbesserung des Innenklimas erfolgen.

⁶¹ Eine Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit kann für einen sensiblen Raum (z.B. unter dem Estrich) zusätzlich zur Wärmedämmung auf dem Estrichboden durch das Aufbringen eines massiven Bodenbelages erfolgen

⁶² Die Wirksamkeit der Nachtlüftung wird allerdings mit dem zunehmend in urbanen Zonen erhöhten Anstieg der Nachttemperaturen an Grenzen stossen.



Auswirkungen auf die Tragwerke von Denkmälern

von Eugen Brühwiler

Das Ziel dieses Dokuments besteht darin, vorhersehbare Auswirkungen des Klimawandels auf die Tragwerke von Baudenkmalen zu beschreiben und zu bewerten, sowie Empfehlungen zu formulieren.

8.1 Heute vorhersehbare Auswirkungen des Klimawandels auf Tragwerke

Klimawandel heisst Veränderung der Einwirkungen (häufige Werte, extreme Werte) auf Baudenkmalen und deren Tragwerke im Zusammenhang mit *Umwelteinflüssen* (Wasser, Temperatur und Wind). Im Einzelnen betrifft dies folgende Arten von Einwirkungen:

- *Hochwasser*: Zunahme der Anzahl von Hochwasserereignissen, Auftreten von bisher unbekanntem Extremereignissen.⁶³ Diese Einwirkung ist relevant für Bauwerke (Gebäude, Brücken, Uferverbauungen usw.) an oder über Gewässern sowie im Auslaufbereich von Flüssen.
- *Schneelasten*: Auftreten von Extremereignissen mit Schneelasten von einer bisher unbekanntem Lastgrösse. Diese sind für Gebäude und deren Dächer v.a. in Höhenlagen (höher als 1'000 m. ü. M.) relevant.
- *Wind*: Auftreten von Extremereignissen (Windböen) von einem bisher unbekanntem Ausmass. Diese sind für Dach- und Turmkonstruktionen von Gebäuden relevant, die sich in Wind-exponierten Lagen befinden.

- *Hydromechanischer Zustand im Baugrund*: Änderungen des Grundwasserspiegels und die Auflösung des Permafrosts führen zu Bewegungen (Setzungen oder Hebungen) von Fundamenten von Gebäuden oder ganzer Gebäudegruppen. Eine Absenkung des Grundwasserspiegels kann zu einer Beschädigung von Holzpfahl-Fundierungen führen, da das Holz nicht mehr permanent unter Wasser stehend vor Fäulnis geschützt ist.
- *Höhere Luftfeuchtigkeit*: kann die Dauerhaftigkeit von Baustoffen und exponierten Bauteilen beeinträchtigen, da Stahlkorrosion begünstigt und Baustoffzersetzung bei höherer Feuchtigkeit beschleunigt werden.

⁶³ Unter « bisher unbekanntem Extremereignissen » sollen Ereignisse verstanden werden, die bisher noch nicht aufgetreten sind und die auch nicht vorstellbar sind. Diese Ereignisse können somit auch nicht mit Modellen erfasst oder vorhergesagt werden.

8.2 Bewertung/Quantifizierung der Auswirkungen

Die Regeln der Baukunde sehen effiziente Massnahmen zur Beherrschung der Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf Bauwerke vor. Diese Massnahmen haben sich bisher bewährt, d. h. es gibt keine Auffälligkeiten im Zusammenhang mit der Schadensstatistik von Bauwerken. Dies könnte auch bedeuten, dass die Sicherheitsmarge grösser ist als die erforderliche, womit die Bauwerke eine gewisse Sicherheitsreserve enthalten könnten.

Daraus kann abgeleitet werden, dass einzig Extremereignisse von bisher unbekanntem Ausmass zu Szenarien führen können, die für Bauwerke, insbesondere Denkmäler, kritisch werden könnten.

Die Fragestellung betrifft nicht nur Baudenkmäler, sondern allgemein die Bauwerke. Es ist somit absehbar, dass sich die Forschung und das Bauwesen diesen Fragen widmen werden.

8.3 Empfehlungen

Empfehlung 1: Experten der Denkmalpflege sollten die Forschung und die Umsetzung von neuen Erkenntnissen in die Praxis des Bauwesens aktiv begleiten, indem die Aspekte und Anforderungen der Denkmalpflege eingebracht werden. Zudem sollten Forschungsthemen formuliert und für die Denkmalpflege relevante Forschungsprojekte beratend begleitet und mitgestaltet werden.

Empfehlung 2: Die Entwicklung vor allem im Normenwesen (des SIA) sollte kritisch verfolgt werden, um nötigenfalls korrigierend eingreifen zu können. Insbesondere geht es um folgende Problematik:

Es ist absehbar, dass die Normen im Hinblick auf den Klimawandel hinsichtlich der Einwirkungen (Lasten und Kräfte) auf Tragwerke angepasst werden. Traditionell wird dabei ein Extremereignis einer Einwirkung mit einem deterministischen Wert beschrieben wie dies für die Projektierung von Neubauten die gängige Praxis ist. Dieses Vorgehen ist jedoch bekannterweise für bestehende Tragwerke unzweckmässig. Für bestehende Tragwerke ist gemäss der Norm SIA 269 das *Prinzip der Verhältnismässigkeit* anzuwenden, auch auf die Einwirkungen auf Tragwerke, was momentan erst selten gemacht wird.

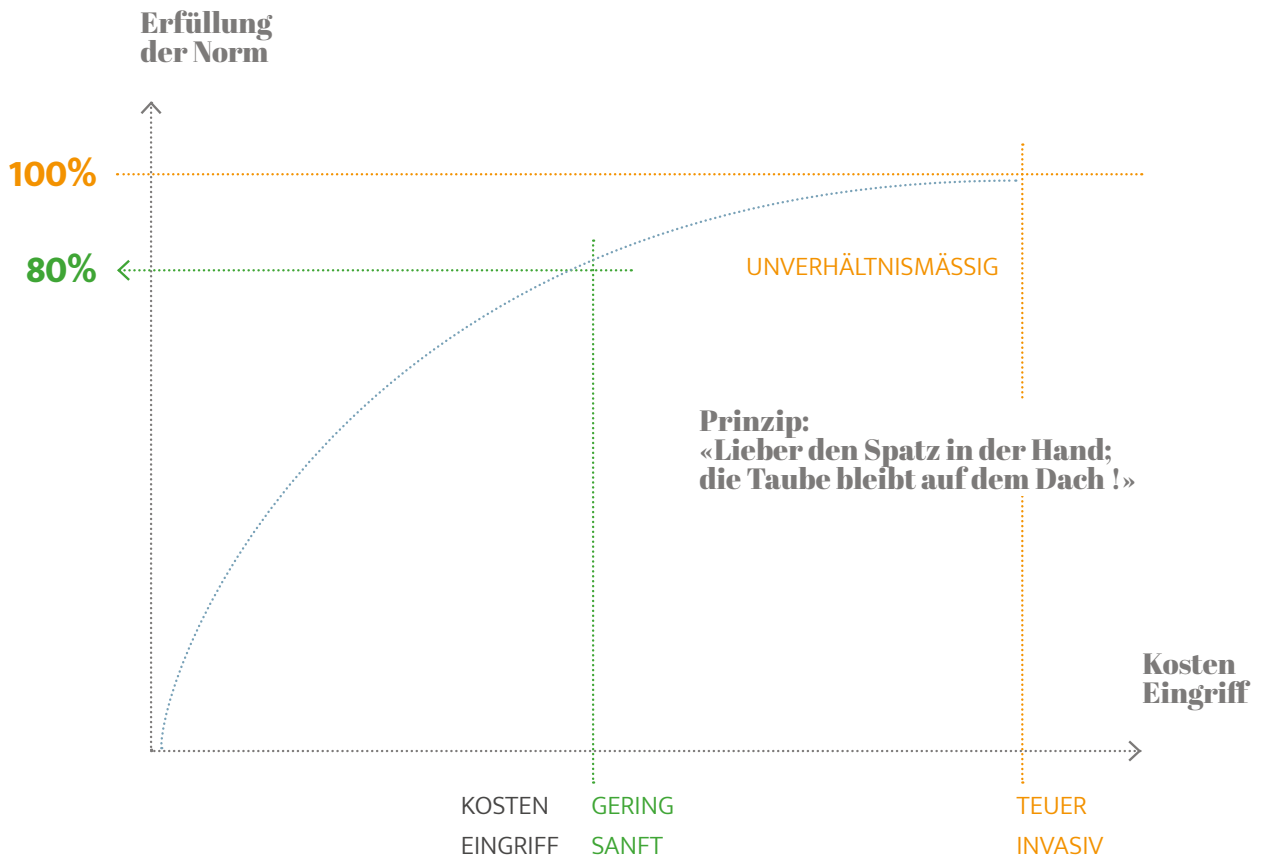
Für Baudenkmäler und deren Tragwerke sollte entsprechend diskutiert werden, ob ein Extremereignis infolge Klimawandel überhaupt berücksichtigt werden soll.⁶⁴

Es wird empfohlen, das Prinzip der Verhältnismässigkeit im Sinne der Darstellung zu diskutieren, damit invasive, mit dem Denkmal wenig verträgliche Eingriffe auf ein Minimum reduziert oder gar vermieden werden können.

Dazu braucht es in der Denkmalpflege eine Richtlinie zum annehmbaren Schadensausmass bei Auftreten von (wenig wahrscheinlichen) Extremereignissen.

⁶⁴ Eine ähnliche Diskussion muss für die grosse Anzahl der bestehenden Bauwerke ohne bedeutende baukulturelle Werte geführt werden. Momentan wird eine eigentliche Risikodiskussion noch weitgehend ausgeblendet mit der Folge, dass unverhältnismässige Massnahmen getroffen werden, um Risiken vermeintlich auszuschliessen. Im Zuge der Nachhaltigkeitsdiskussion dürfte dieses tradierte Vorgehen baldmöglichst korrigiert werden.

Aussergewöhnliche Einwirkungen: sicherheitsbezogene Massnahmen



-→ SO VIELE MASSNAHMEN WIE VERHÄLTNISSMÄSSIG MÖGLICH!
-→ WEG VON HANDLUNGSANWEISUNGEN, HIN ZU RISIKOANALYSEN!

9 Klimawandel in Gartendenkmälern

von Brigitte Nyffenegger

Die nachfolgenden Inhalte beschränken sich auf Pflanzen und gartentypische Beläge. Bauteile wie Kleinarchitekturen, Mauern, Einfriedungen, Brunnenanlagen, Pergolen sind von den nachfolgenden Erläuterungen ausgenommen.

Gartendenkmäler in Siedlungsgebieten leisten einen Beitrag zur Reduktion der Temperaturen in den sie umgebenden Wohn- und Arbeitsplatzgebieten. Dank ihrer Inventarisierung und der Wertschätzung, die ihnen entgegengebracht wird, haben sie Bestand und können bei Hitze kühlend wirken.

9.1 Auswirkungen

9.1.1 Pflanzenarten

Temperaturerhöhung sowie längere Trocken- und Hitzeperioden führen dazu, dass diverse Pflanzenarten begonnen haben auszufallen und zukünftig, ohne Gegenmassnahmen oder möglicherweise auch mit Gegenmassnahmen, *verstärkt ausfallen* werden. Davon betroffen sind Bäume, Sträucher wie auch Stauden und Rasen. Bei den Bäumen können die Gemeine Buche, Fichte, Bergahorn, alle gängigen Lärchenarten, Mammutbäume, Scheinzypressen (die letzteren drei im Mittelland), Amberbaum, Dreizahn-Ahorn oder Parrotie als Beispiele genannt werden. Die standortheimischen Pflanzen weichen bereits heute in höhere Lagen und damit in mildere, ihnen entsprechende Klimazonen aus.

Das Nachpflanzen erweist sich heute als zunehmend aufwändiger als vor Jahren. Ein üblicher Richtwert war zwei Jahre Pflege, bis ein Baum oder ein Strauch angewachsen war und eine Rabatte sich entwickelt hatte. Es kommt heute regelmässig vor, dass diese Pflege bis 4 Jahre länger ausgeführt werden muss.

Die Temperaturerhöhung fällt heute, und wird aufgrund der Bebauung und der Versiegelung, unterschiedlich stark aus. Im Siedlungsgebiet sind die Temperaturen bereits heute erhöht und der Boden ist trockener. Die Artenwahl schränkt sich hier erneut ein. Es kann ein zunehmender Verlust an Pflanzenarten, seien es Bäume, Sträucher oder auch Stauden erwartet werden. In der Forstwirtschaft wird geforscht, welche Ersatzbaumarten anstelle der betroffenen heimischen Arten verwendet werden könnten. Das grosse Problem dabei ist, dass viele der möglichen Kandidaten nicht mit Frost zurechtkommen, dieser bei uns aber vorläufig noch regelmässig auftritt.

Zudem sind verstärkt auch in der Schweiz *neue Krankheiten oder neue Schädlinge* an Pflanzen zu beobachten. Die Häufigkeit dieser Krankheiten und Schädlinge hat über die vergangenen hundert Jahren zugenommen, und sie verteilen sich aufgrund des globalen Warenfluss und dem Klimawandel heute stark. Am augenfälligsten sind sie bei Bäumen, befallen jedoch Sträucher und Stauden genauso. Beispiele dazu sind die Miniermotte an den Rosskastanien, das Eschentriebsterben oder der Eichenprozessionsspinner an den Eichen. Die Miniermotte beeinträchtigt die Rosskastanie optisch und in ihrer Vitalität, Eschen sterben ab oder müssen aufgrund ihrer Instabilität gefällt werden und der Eichenprozessionsspinner reizt die Haut des Menschen nesselartig und kann Atemprobleme auslösen.

Die *Freisetzung von reaktivem Stickstoff* hat sich aufgrund der Intensivierung in der Landwirtschaft und der Verbrennung von Holz und fossilen Brennstoffen seit Mitte des 19. Jahrhunderts verzehnfacht. Der reaktive Stickstoff gelangt über die Luft in den Boden und bewirkt eine Anreicherung des Stickstoffs in den Böden und in der Vegetation. Das Wachstum erhöht sich, die Dichte des Holzes von Pflanzen verringert sich, so dass Stämme und Äste bei Sturm oder Schneelast leichter brechen können. Blätter und Nadel werden weicher und sind anfälliger gegen Austrocknung und den Frost, schmecken Insekten besser und sind weniger robust gegen Pilze und Bakterien. Hier ist auch anzumerken, dass der heute erhöhte CO₂-Gehalt in der Luft die Pflanzen auch üppiger wachsen lassen als die Jahre, Jahrzehnte und zwei Jahrhunderte zuvor.

Eine weitere indirekte Auswirkung des Klimawandels ist beim *Verhalten der Menschen* festzustellen. Die Sorge um die Natur unter dem Eindruck des Klimawandels ist gross. Dabei wird die vielerorts heute propagierte Biodiversitätsförderung zu Hilfenommen und Förderflächen oder standortheimische Pflanzen in historischen Gärten gewünscht oder gefordert. Diese Forderungen werden an die in der Gartendenkmalpflege tätigen Fachleuten seitens der Bevölkerung wie seitens Fachleuten aus dem Umweltbereich herangetragen, dies, obwohl die Gartendenkmäler inventarisiert oder geschützt sind. Die Forderungen werden ungesehen der denkmalpflegerischen Eigenschaften des Denkmals formuliert. Dieses Verhalten hat leider in den vergangenen Jahren fortlaufend zugenommen. Es kann eine Polarisierung festgestellt werden. Unverständnis und emotionale Betroffenheit seitens der Naturförderer sind leider nicht selten, sollten Denkmalwert und Biodiversitätsförderung nicht vereinbar sein. Schwierig erscheint uns dieses Verhalten insbesondere von Fachleuten, denen die Bedeutung und den Stellenwert von Inventarobjekten bekannt ist. Diskussionen entstehen auch um Verwendung von einzelnen Pflanzen der Gartenkultur, die sich ohne menschliches Zutun hier fortpflanzen können. Es sind nicht nur die gemäss der Freisetzungsverordnung (FrSV) erwähnten Pflanzenarten, sondern weitere, die auf der Schwarzen Liste und der Watchliste (www.infoflora.ch) aufgeführt sind.



Absterbendes Rhododendronbeet, Parkanlage Schloss Riggisberg BE, 17.08.2022
(© Umland GmbH)



Ausgewaschener Mergel, Ermitage, Arlesheim BL, 18.08.2022 (© Umland GmbH)

9.1.2 Starkregen

Starkregen bewirkt, dass in kurzer Zeit grössere Wassermengen anfallen, die in so kurzer Zeit nicht vom Boden und den Pflanzen absorbiert werden können. Dies bewirkt einen stärkeren oberflächlichen Abfluss. Dies hat für Gartendenkmäler Folgen auf unterschiedlichsten Ebenen:

- Gewässer benötigen mehr Raum und werden renaturiert. Diese Massnahmen können in Teilen zulasten von Gartendenkmälern erfolgen.
- In der Regel werden bei Neubauten, vereinzelt auch bei Umbauten die Versickerung auf dem Grundstück seitens der Behörden gefordert. Dies kann bedeuten, dass unterirdische Versickerungsanlagen in Gärten eingebaut werden oder oberflächliche, begrünte Mulden in Vegetationsflächen zu erstellen sind. Diese Massnahmen können auch in historischen Gärten erfolgen. Meines Wissens wurden diese Massnahmen in Gartendenkmälern nie unverhältnismässig durchgesetzt.
- Auch kann seitens der Behörden gefordert werden, dass die Rückhaltung von Meteorwasser unabhängig der Versickerungsmöglichkeiten gedrosselt werden muss. Dies kann bewirken, dass Rückhaltevolumen unter- oder oberirdisch auf dem Grundstück zu erstellen sind.
- Die wichtigste Auswirkung von Starkregen erfolgt bei den Belägen. Der heute sehr oft verwendete Mergel in Schweizer Gärten ist ein natürliches und bindiges Material, welches als Deckbelag oder Verschleisssschicht seit den 1960er eingebaut wird. Der Mergel wird in der Regel mit Gartenkies, Sand oder Splitt abgestreut. Durch die Verdichtung und das Einschlämmen des Mergels beim Einbau ist er stabil, aber jedoch kaum wasserdurchlässig, was dazu führt, dass bei Flächen im Gefälle bei Starkregen der Mergel inklusive Teile der darunterliegenden Foundation heute deutlich häufiger und gründlicher abgetragen wird als vor wenigen Jahren. Der Aufwand zum Unterhalt dieser Wege steigt. Die Verwendung dieses Belages oder der historischen Randabschlüsse des Belages wird heute häufiger in Frage gestellt.

9.2 Massnahmen

Nachfolgend werden aktuelle und angedachte Strategien zum Umgang mit den klimabedingten Veränderungen in Gärten aufgezeigt.

9.2.1 Pflanzen

Es gibt hier verschiedene Strategien, die sich aufgrund des Umfangs der baulichen und pflegerischen Massnahmen in zwei Kategorien einteilen lassen:

1. Ausweichen auf andere Pflanzen
2. Bodenverbesserung und/oder Bewässerung

Der Ersatz einer Pflanzenart durch eine andere erfolgt in der Regel aufgrund des Aussehens. Gesucht werden resiliente Ersatzpflanzen, die das heutige wie auch das zu erwartende zukünftige Klima ertragen und der ursprünglich gepflanzten Art in Grösse, Wuchsform, Blattform, Blüte etc. möglichst ähnlich sind. Beispielsweise werden so die heimischen Fichten in Landschaftsgärten durch Kaukasus-Fichten ersetzt (Beispiel Wenkenpark, Riehen BS). Die Folge davon ist, dass sich das Bild des Gartens verändert.

Oft werden Ersatzbaumarten weniger gross und sind weniger wüchsig als die ursprüngliche Baumart, da diese Arten in der Regel aus südlicheren und trockneren Gebieten stammen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Gärten zukünftig weniger wüchsig, schütterer oder brauner sein werden.

Eine weitere Strategie, neben dem Ausweichen auf eine andere Art, ist die Förderung der Redundanz einer Bepflanzung. Also eine hohe Diversität von Arten pflanzen, damit beispielsweise die Rabatte als Ganzes überlebt, jedoch nicht die einzelnen Arten. Auch wird mit der Spontanverjüngung gearbeitet, Wildlinge belassen oder Pflanzen vor Ort vermehrt und so nach Möglichkeit Pflanzen gefördert, die indigene Genotypen sind, sich dem Standort durch Jahrhunderte angepasst haben und möglicherweise auch für die Zukunft besser angepasst sein werden. Diese Strategie eignet sich insbesondere für standortheimische Arten, oft, aber nicht immer, auch für Gartenpflanzen. Weiter ist es möglich, dem Boden Stickstoff oder Nährstoffe durch entsprechende Pflege zu entziehen oder zuzufügen und so ausgewählten Pflanzenarten einen besseren Fortbestand zu ermöglichen.

Eine andere Strategie, die mit Hilfe von technischen Mitteln erfolgt, wird mit verstärktem, manuellem Bewässern, dem Bau von automatisierten Bewässerungsanlagen und dem Austausch von Boden verfolgt. Die Bewässerungsanlagen werden heute in der Regel mit Frischwasser betrieben, da die Kosten für die Verwendung von Meteorwasser über lange Zeit höher sind als bei der Verwendung von Frischwasser und für die Rückhaltung des Meteorwassers grosse Tanks auf dem Areal vor Ort eingebaut werden müssen. Die Auflage, dass Meteorwasser auf dem Grundstück unabhängig von den Versickerungsmöglichkeiten zurückzuhalten ist, schafft jedoch die Möglichkeit, mit geringen Kosten die Bewässerung von Pflanzen mit dem zurückgehaltenen Meteorwasser.

Der Bodenaustausch bis auf rund einen Meter Tiefe ist heute schon bei Baumpflanzungen an Strassen und in Plätzen üblich und wird mit dem heute in der Testphase befindlichen «Schwammstadt-Prinzip» noch verstärkt werden. Dabei wird ein grossflächiger Bodenaustausch vorgenommen. Für die Pflanzen, die an diesen Orten vital wachsen sollen, wird bei diesen Massnahmen viel gebaut. Für Bewässerungen oder die Wasserzufuhr von Dächern werden Leitungen durch Gärten gezogen und Schächte werden eingebaut. Viel Aushub wird weggefahren und Substrate werden eingefüllt. Viele Lastwagen transportieren Material hin und zurück und der ausgetauschte Boden wird im Umland deponiert. Die technische Aufrüstung kann die Pflege erleichtern, erzeugt jedoch bei der Erstellung viel Graue Energie. Zudem sind die Massnahmen, ins besondere der Substrateinbau kostenintensiv und kann zulasten der wertvollen Substanz des Baudenkmals erfolgen.

Ein weiterer Aspekt gilt den Rabatten oder Blumenrabatten. Sollen heutige Rabatten den ursprünglichen Gartendenkmälern vergleichbare Bilder erzeugen oder mit den ursprünglichen Konzepten bepflanzt werden, so ist vermutlich in vielen Situationen ein deutlich höherer Einsatz an Pflege und Wasser notwendig. Hier ergeben sich heute schon bei der Wiederherstellung dieser Bepflanzungen oft auch Einschränkungen bei der Wahl von Pflanzensorten, da viele dieser Sorten heute nicht mehr oder nur verändert erhältlich sind. Der Klimawandel beschleunigt die Veränderung der Arten- und Sortenzusammensetzung in Rabatten und die daraus resultierenden optischen Veränderungen.

Die oben genannten Strategien werden kulturbedingt unterschiedlich angewendet. In Paris sind Bewässerungsanlagen in der Innenstadt die Regel, während in Berlin-Brandenburg ganze Buchenwälder ausfallen und ohne technische oder vegetations-technische Aufrüstung neu bestockt werden. In Basel sind alle Parkanlagen im Sommer Dank den erfolgten Bewässerungen schön grün, während in Zürich in trockenen Sommern beige-gelbe Flächen das Aussehen der städtischen Parks und Freibäder prägen. Die Wahl der Strategie ist zudem abhängig vom Gartendenkmal, seiner Bedeutung und den kulturellen, örtlichen, aber auch finanziellen Gegebenheiten.

Das heute *intolerante Verhalten vieler Menschen zum gartenkulturellen Erbe* beruht zu einem grossen Teil auf fehlendem Wissen und auf der heute allgemein erfolgten Annahme, dass das Gartenerbe für die Biodiversität nachteilig sei. Von sehr vielen Gartenpflanzen ist ihr Beitrag zur Biodiversitätsförderung nicht bekannt. Mit wenigen Ausnahmen fehlen entsprechende Studien oder Forschungsarbeiten. Dass Gartendenkmäler Refugien von heimischen, auch seltenen Arten sind, wird nicht wahrgenommen. Massnahmen zur Behebung dieser Wissens- und Kommunikationsdefizite sind mir keine bekannt.

9.2.2 Mergelbelag

Hier erscheint es mir sinnvoll, wenn der Mergel nach Bedarf durch ein anderes kiesig-bindiges und gut verdichtbares Material aus lokalen Steinbrüchen oder Kieswerken ersetzt werden kann. In Deutschland ist von einem Hersteller ein entsprechendes Material erhältlich. Kosten für den Bezug dieses Materials in der Schweiz sind jedoch hoch und im Unterhalt ist das Material problematisch, da die Beläge periodisch ergänzt werden müssen und dabei nur Kleinmengen verwendet werden. Es ist auch unsinnig, dieses Kiesmaterial über lange Distanzen zu transportieren und dabei mehr CO₂ als beim Bezug in der Region in die Atmosphäre abzugeben.

Ein Ansatz könnte sein, auf die heute kaum noch verwendete Chausserie anstelle des Mergels zurückzugreifen. Die Chausserie hat den Vorteil, dass sie stark wasserdurchlässig ist, jedoch eine mässige Stabilität aufweist. Die Chausserie wurde mit «Kies ab Wand» erstellt und über Kopf geschüttet, mit der Schaufel planiert, gerecht und verdichtet eingebaut. Die Schüttung über Kopf und die darauffolgende manuelle Verteilung des Materials bewirkt eine natürliche Verteilung der Körnung. Dies führt zu einer gewissen Standfestigkeit des Belags.

Es wäre hier sinnvoll Forschung zu betreiben, um ein Produkt zu entwickeln, dessen Zusammensetzung für alle öffentlich einsehbar ist und das leicht allorts mit lokal vorhandenem Material hergestellt werden kann. Es soll wasserdurchlässig und gut standfest sein und aus regionalen Materialien erstellt werden.

9.3 Quantifizierung

Das Quantifizieren der Folgen des Klimawandels in den Gartendenkmälern der Schweiz erscheint eine aufwändige und kostenintensive Arbeit zu sein. Ich erachte es als sinnvoll, diese Fragestellung eingehend mit Wissenschaftler, die Erfahrung in vergleichbaren Erhebungen haben, zu diskutieren und eine angemessene Methode zu entwickeln. So kann der zu erwartende Aufwand zielführend abgeschätzt werden.

Was ich aus meiner Laiensicht und aufgrund von geführten Gesprächen mit vier Fachpersonen der Gartendenkmalpflege vorstellen kann, ist Folgendes. Idee Experteninterviews: Ausgewählte Fachleute würden in regelmässigen Abständen befragt werden und die Ergebnisse dieser Interviews würden zusammengefasst, interpretiert und mit den Befragungen der vorangehenden Jahre verglichen werden. Idee Baumkataster: Die Baumkataster, eine Verortung und Beschreibung der Bäume, die in vielen Gemeinden zu den öffentlichen Anlagen vorhanden sind, könnten Grundlage für das Quantifizieren der Auswirkung des Klimawandels auf die Bäume in Gartendenkmälern werden. Die Baukataster werden laufend nachgeführt. Idee Audit: Exemplarisch ausgewählte Gartendenkmäler umfassend bezüglich ihrer Veränderungen beobachten. Die Städte Basel, Bern und Zürich verfügen über entsprechende Inventare – auch wenn diese nicht alle rechtskräftig sind. Auch Lausanne weist geschützte Parks auf. Genf? Es könnten exemplarische Anlagen ausgewählt werden.

9.4 Empfehlungen

Quantifizierung: Gespräche mit Wissenschaftler zur Diskussion von möglichen Strategien und zur Formulierung eines Aufgabenbeschreibs.

Fördermittel für die Klimaanpassung von Gartendenkmälern der Schweiz: Mit den Fördermitteln, insbesondere für Gartendenkmäler, würde neben dem Erhalt, dem Gartendenkmal auch mehr Wertschätzung entgegengebracht werden. Denn das Gar-

tendenkmal wird leider immer noch nicht bei allen als selbstverständlicher Teil unserer Denkmäler oder als selbstverständlicher Teil schützenswerter Siedlungsbilder verstanden. Diverse kantonale oder kommunale Inventare sind bezüglich Gartendenkmälern lückig oder die Gärten fehlen komplett.

Fördermittel für die laufende, erhöhte Pflege: Es kann beobachtet werden, dass heute die Pflege eingeschränkt wird, damit Sanierungen ausgelöst und mit den Sanierungen einhergehend Fördermittel generiert werden können. Dem Denkmalwert von Gärten ist dies abträglich. In der Pflege von Naturinventaren werden auch Fördermittel eingesetzt.

Fördermittel zur Erforschung der ökologischen Werte von Pflanzen der Gartenkultur: Hier fehlt ein entsprechendes Forschungsprogramm. Das Fehlen dieses Fachwissen führt dazu, dass davon ausgegangen wird, dass insbesondere standortheimische Pflanzen die Biodiversität erhöhen.

Informationspolitik des Bundes: Es soll kommuniziert werden, dass Gartendenkmäler ihre Berechtigung aufweisen und entsprechend geschützt sind und nicht bezüglich Biodiversität umzugestalten sind.

Fördergelder zur Entwicklung eines klimageeigneten Deckbelages aus Materialien aus der Region: Hier würde es vorgängig noch eine Präzisierung der Fragestellungen und der technischen Möglichkeiten erfordern, um zu prüfen, ob diese Strategie erfolgversprechend ist.

Publizieren von Best-Practice-Beispiele zum Umgang mit historischen Gärten im Klimawandel: Das würde mithelfen, den Erhalt der Gartendenkmäler verstärkt und positiv zu kommunizieren. Das Gartendenkmal kann ein Aushängeschild zum Erhalt von Denkmälern unter dem Klimawandel werden.

Diese Empfehlungen beschränken sich nicht nur auf Gartendenkmäler, sondern könnten vermutlich auch auf andere Bau- und Denkmäler ausgeweitet werden.

10

Zusammenfassung der erwähnten Auswirkungen und der vorgeschlagenen Massnahmen

Bereich	Allgemeine Massnahmen (Reihenfolge nicht aussagekräftig)
Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Schweizweites Monitoring repräsentativer archäologischer Fundstellen entwickeln bzw. ausbauen • Nationales Register der am stärksten gefährdeten archäologischen Fundstellen anlegen • Katalog mit konkreten Fundstellen-Schutzmassnahmen und Best-Practice-Beispielen erarbeiten und verbreiten • Forschung fördern (Stand der Forschung, zentrale Wissenssammlung, hydromechanische Prozesse; Auswirkungen auf archäologische Funde und Archive) • Forschung breit vermitteln und betroffene Kreise und politische Entscheidungsträger sensibilisieren
Gebautes Kulturerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Schweizweites Monitoring repräsentativer Ortsbilder, Materialien und Objekte entwickeln bzw. ausbauen • Erarbeiten und Entwickeln von Baunormen • Forschung fördern (Bestandsaufnahme der nationalen und internationalen Forschung, zentrale thematische Bibliografien, Auswirkungen auf die Strukturen) • Instandhaltungsmassnahmen fördern und ggf. finanziell unterstützen • Langzeitige Wartungsplanungen erstellen
Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> • Schweizweites Monitoring repräsentativer historischer Gärten entwickeln bzw. ausbauen • Katalog mit konkreten Handlungsmassnahmen und Best-Practice-Beispielen erarbeiten und verbreiten • Forschung fördern (Bestandsaufnahme internationale Forschung zum Thema historische Gärten und Klimawandel, denkmalverträglicher und Starkregen verträglicher Bodenbelag, ökologische Qualitäten von Gartenpflanzen, zentrale thematische Bibliografien) • Pflege- und Instandhaltungsmassnahmen, evtl. finanziell unterstützen

Direkte Faktoren	Bereich	Auswirkungen	Massnahmen
Erdbeben, Schlammlawinen, Felsstürze, Überschwemmungen	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Teilweiser oder vollständiger Verlust von Fundstellen 	
	Gebautes Kulturerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Schäden oder Zerstörung von Denkmälern 	
Stürme	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Erosion der Sedimentüberdeckung, die die archäologischen Kulturschichten schützt 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring der Unterwasserfundstellen und der Erosion
	Struktur	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Schäden an windexponierten Gebäuden 	
	Glasfenster, Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Glasbruch und -verlust, insbesondere bei bleihaltigen Glasmalereien 	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanischer Schutz durch Anbringen von unzerbrechlichen Gittern, Netzen und Glasscheiben, wobei die erforderliche Belüftung aufrechtzuerhalten und der Temperaturanstieg zu reduzieren ist
Extreme Hagelniederschläge	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Schäden an der Oberfläche von Materialien 	
	Glasfenster, Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Glasbruch und -verlust, insbesondere bei bleihaltigen Glasmalereien 	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanischer Schutz durch Anbringen von unzerbrechlichen Gittern, Netzen und Glasscheiben, wobei die erforderliche Belüftung aufrechtzuerhalten und der Temperaturanstieg zu reduzieren ist
Extreme Schneeniederschläge	Struktur	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf die Baustatik, insbesondere auf über 1000 m. ü. M. 	
	Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> • Astbruch 	

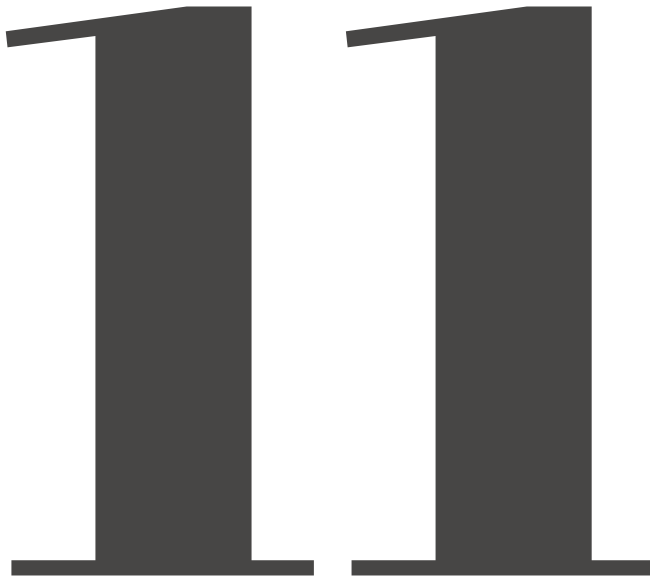
Direkte Faktoren	Bereich	Auswirkungen	Massnahmen
Geringere Luftfeuchtigkeit (Sommer)	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigte Verwitterung organischer Funde 	
	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Austrocknung und Zerfall von Elementen aus Ton und Molasse 	<ul style="list-style-type: none"> Häufigere Unterhaltsarbeiten
Geringere Bodenfeuchte (Sommer)	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigte Verwitterung organischer Funde 	
	Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> Pflanzen vertrocknen und sterben ab Schwierigkeiten beim Nachpflanzen 	<ul style="list-style-type: none"> Ersatzpflanzung Bodenaustausch bis zu einer bestimmten Tiefe Evtl. verstärktes Bewässern
Veränderung des Grundwasserspiegels	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigte Verwitterung organischer Funde 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoring von Grundwasserspiegel und Seepegel Analyse der Gefahr der Austrocknung unter Naturschutz stehender Feuchtgebiete und Aufüstung der bestehenden Regulierungsmöglichkeiten (zusammen mit den kantonalen Fachstellen für Natur und Landschaft)
	Struktur	<ul style="list-style-type: none"> Destabilisierung der Gebäudefundamente, insbesondere von Holzpfehl-Fundierungen 	
Veränderung des Bodenchemismus	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigte Verwitterung organischer Funde 	
Verlängerung der Trockenperioden (Sommer)	Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> Verschwinden verschiedener Pflanzenarten (insbesondere Gemeine Buche, Fichte, Bergahorn, Lärche, Mammutbaum, Scheinzypresse usw.) 	<ul style="list-style-type: none"> Nachzucht von standortangepassten Pflanzen Ersetzen von Pflanzenarten durch ähnliche, aber resilientere Arten Vermehrung / Förderung der Redundanz der Bepflanzung Nährstoffzugabe resp. Ausmagern des Bodens Bodenaustausch bis zu einer bestimmten Tiefe Verstärktes Bewässern
Erhöhte Luftfeuchtigkeit (Winter)	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> Verschlechterung des Erhaltungszustands der archäologischen Sammlungen und Archiven 	<ul style="list-style-type: none"> Überprüfung und Anpassung der Bedingungen für die Aufbewahrung von archäologischem Material und Archiven
	Struktur	<ul style="list-style-type: none"> Beschleunigte Baustoffzersetzung (Stahlkorrosion, Holzfäulnis usw.) 	<ul style="list-style-type: none"> Häufigere Unterhaltsarbeiten
	Glasfenster, Glas	<ul style="list-style-type: none"> Auftreten von Kratern, Korrosionsschichten oder Krakelee auf Glasmalereien Oxydieren der metallischen Elemente im Glas Vermehrtes Korrodieren der Metallstrukturen, die das Glas halten, was zu Bruch und Verlust des Glases führen kann 	<ul style="list-style-type: none"> Häufigere Unterhaltsarbeiten
	Raumklima	<ul style="list-style-type: none"> Zunahme von Schimmelpilzvorkommen in den Orgelgehäusen 	<ul style="list-style-type: none"> Häufigere Unterhaltsarbeiten

Direkte Faktoren	Bereich	Auswirkungen	Massnahmen
Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Niederschlägen in Form von Regen	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> Erosion der Sedimentüberdeckung, die die archäologischen Kulturschichten schützt 	<ul style="list-style-type: none"> Fundstelle- und Erosionsmonitoring
	Struktur	<ul style="list-style-type: none"> Eindringen von Feuchtigkeit in das Tragwerk, z.B. unter alte Falzziegel oder zwischen Blechverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> Verstärkung der Regenrinnen auf Dächern Grössere Ablaufrohre Schaffung punktueller Überläufe
	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Tiefes Eindringen von Feuchtigkeit in poröse Materialien Zunehmende Auswaschung von Elementen aus Lehm, Gips und Kalk- oder Zementbindemitteln 	<ul style="list-style-type: none"> Häufigere Unterhaltsarbeiten
	Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> Zunehmende Abtragung von Mergelbelägen 	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung des Pflegeaufwandes Ersetzen von Bodenbelägen aus Mergel (z. B. durch Kiesflächen) Forschung fördern zur Entwicklung durchlässiger, stabiler Beläge aus lokalen Materialien

Direkte Faktoren	Bereich	Auswirkungen	Massnahmen
Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperaturen	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Verschlechterung des Erhaltungszustands der archäologischen Sammlungen und Archive • Änderung der Bedingungen für Notgrabungen und Verlängerung der Grabungen im Winter • Gletscherschmelze, Freilegung und schnellerer Zerfall der Funde als Folge der Gletscherschmelze 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilisierung der Öffentlichkeit und Entwicklung von Warnprotokollen (z. B. Icewatcher-App, Kanton Wallis)
	Struktur	<ul style="list-style-type: none"> • Baugrundinstabilität in hohen Lagen wegen des Auftauens des Permafrosts 	
	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Beschleunigung vieler chemischer Reaktionen • Abbau von kalkgebundenem Mörtel • Thermische Dilatation von Blechdächern älterer Bauart, was zu Pressungen und Rissen führt • Thermische Dilatation von Platten-sandsteinen, was zu Kantenpressungen und Rissen führt • Öffnen der Lagerfugen bei granitischen Sandsteinen • Absanden von Molasse-Sandsteinen 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufigere Unterhaltsarbeiten
	Glasfenster, Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Thermische Dilatation von Materialien (Metall- oder Betonstrukturen, Kittfugen, Materialverbindungen durch Glas-Fusing oder Klebungen), was zu Pressungen und Rissen führt • Erhöhte Spannungen in den Malschichten und zwischen den Bemalungen und dem Trägerglas • Ablösung von Malschichten 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufigere Unterhaltsarbeiten
	Raumklima	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Innentemperatur (Behaglichkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> • Beschattung von Gebäuden mit Bepflanzungen • Nachtkühlung, evtl. automatisch • Anbringen von beweglichen Sonnenschutzeinrichtungen an Fenstern • Fensterglasersatz durch Sonnenschutzgläser • Erhöhung der Wärmespeicherefähigkeit
	Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> • Verschwinden verschiedener Pflanzenarten (insbesondere Gemeine Buche, Fichte, Bergahorn, Lärche, Mammutbaum, Scheinzypresse usw.) • Schwierigkeiten beim Nachpflanzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ersetzen von Pflanzenarten durch ähnliche, aber resilientere Arten • Vermehrung / Förderung der Redundanz der Bepflanzung • Nährstoffzugabe / Entzug von Nährstoffen • Bodenaustausch bis zu einer bestimmten Tiefe • Verstärktes Bewässern

Direkte Faktoren	Bereich	Auswirkungen	Massnahmen
Häufigere Frost-Tau-Zyklen	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Frostsprengung/-verwitterung von porösen Materialien, die beim Gefrieren nass waren 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufigere Unterhaltsarbeiten
Höhere IR- und UV-Einstrahlung	Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Schäden an Harzanstrichen und Ausbleichen von manchen Pigmenten • Rascherer Abbau von organischen Anstrichbindemitteln • Rascherer oberflächlicher Abbau von Hydrophobiermitteln • Schnellerer mikrobieller Befall von Materialoberflächen im Aussenbereich • Stärkere Korrosion von organischen Verbindungen wegen erhöhter Ozongehalte in Bodennähe 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufigere Unterhaltsarbeiten
	Glasfenster, Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Schäden am Kitt und anderen organischen Stoffen, die bei Restaurierungen eingesetzt werden (Klebstoffe, Füllungen, Retuschen) 	
<i>Ansteigen der Waldgrenze</i>	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung von archäologischen Kulturschichten 	
<i>Aufkommen neuer Parasiten (Pflanzen/Tiere)</i>	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung von archäologischen Kulturschichten • Verschlechterung des Erhaltungszustands von archäologischen Sammlungen und Archiven 	

Indirekte Faktoren	Bereich	Auswirkungen
Ungeeignete Massnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels (z. B. Durchgrünung von Siedlungsgebieten)	Archäologie	<ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung von archäologischen Funden und Kulturschichten
Ungeeignete Massnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels (z. B. Beschattungseinrichtungen, Gebäudeisolierung, Klimaanlage, Hochwasserschutzmassnahmen usw.)	Kulturerbe	<ul style="list-style-type: none"> • Verlust an historischer Substanz • Beeinträchtigung der visuellen Integrität
Ungeeignete Massnahmen (z. B. Förderung heimischer Pflanzen in historischen Gärten, Beschränkung von Nachpflanzungen an Parzellengrenzen)	Historische Gärten	<ul style="list-style-type: none"> • Verlust von Authentizität • Beeinträchtigung der visuellen Integrität



Literatur

Bader S., Bantle H. 2004, Das Schweizer Klima im Trend. Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864-2001, Veröffentlichung MeteoSchweiz 68

<https://www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/publications/publications-scientifiques/de/2004/das-schweizer-klima-im-trend-temperatur-und-niederschlagsentwi.html> | 01.02.2023

Bläuer Böhm C. 2005, «Auswirkungen von hydrophoben Fassadenmaterialien auf die Erhaltung und Pflegefähigkeit von Baudenkmalern. Beobachtungen aus der Praxis», in Exner M., Jakobs D. (Hrsg.), Klimastabilisierung und bauphysikalische Konzepte, ICO-MOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees XLII, Tagung Insel Reichenau 25.-27.11.2004, S. 117-128

Bläuer C. 2016, «Möglichkeiten und Grenzen von naturwissenschaftlichen Verputz- und Mörteluntersuchungen», in Emmenegger O., Historische Putztechniken. Von der Architektur zur Oberflächengestaltung, Triest-Verlag, Zurich, S. 31-44

Boivin N., Crowther A. 2021, Mobilizing the past to shape a better Anthropocene, Nat. Ecol. Evol. 5, S. 273-284

<https://www.nature.com/articles/s41559-020-01361-4> | 01.02.2023

Brimblecombe P. 2018, «Policy Relevance of Small Changes in Climate with Large Impacts on Heritage», in Lefèvre R. A., Sabbioni C. (ed.) 2018, Cultural heritage facing climate change: experiences and ideas for resilience and adaptation, Edipuglia, Bari, S. 23-30

Caroselli M. et al. 2019, « Insights into Carolingian construction techniques – results from archaeological and mineralogical studies at Müstair Monastery, Grisons, Switzerland », Proceedings of the 5th Historic Mortars Conference, Pamplona, Spain, 19-21.06.2019, S. 743-757

CH2018 2018, Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suisse/rapport-technique.html> | 01.02.2023

European Commission, Cassar M., Sabbioni C., Brimblecombe P. 2010, The atlas of climate change impact on European cultural heritage. Scientific Analysis and Management Strategies, Anthem Press

Frei P. 2016, «Snowfall in the Alps: Evaluation and Projections based on the EURO-CORDEX Regional Climate Models», in Scientific Report MeteoSwiss 101

<https://www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/publications/publications-scientifiques/2016/snowfall-in-the-alps-evaluation-and-projections-based-on-the-eu.html> | 01.02.2023

Groupe de travail ICOMOS sur le changement climatique et le patrimoine culturel 2019, L'avenir de notre passé : Engager le patrimoine culturel dans l'action pour le climat, 01.07.2019, ICOMOS, Paris

<https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2452/> | 01.02.2023

Lefèvre R.-A, Sabbioni C. (ed.) 2018, Cultural heritage facing climate change: experiences and ideas for resilience and adaptation, Edipuglia, Bari

Magdalena-Leyser et al. (ed.) 2021, Stadt unter Druck! Klimawandel und kulturelles Erbe, Beiträge zur städtebaulichen Denkmalpflege, Bd. 10

McCabe S. et al. 2013, «Changing climate, changing process: implications for salt transportation and weathering within building sandstones in the UK», Environ. Earth Sci. 69, S. 1225-1235

https://www.researchgate.net/publication/256495287_Changing_climate_changing_process_Implications_for_salt_transportation_and_weathering_within_building_sandstones_in_the_UK | 01.02.2023

Publications Office of the European Union 2018, Heritage at risk: EU research and innovation for a more resilient cultural heritage, Publications Office

Quervain de F. 1969, Die nutzbaren Gesteine der Schweiz, Kümmerly & Frey, Berne

Scherrer S. C. et al. 2016, «Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland», in Journal of Geophysical Research: Atmospheres, S. 2626-2637

<https://doi.org/10.1002/2015JD024634> | 01.02.2023

Sesana E. et al. 2021, «Climate change impacts on cultural heritage: A literature review», in WIREs Climate Change

<https://doi.org/10.1002/wcc.710> | 01.02.2023

Viles H. A. 2002, «Implications of future climate change for stone deterioration», in Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies. Geological Society London special publication 205, S. 407-418

<https://www.lyellcollection.org/doi/10.1144/GSL.SP.2002.205.01.29> | 01.02.2023

World Heritage Centre 2007, Climate change and World heritage, Series n. 22

World Heritage Centre 2007, Case studies on climate change and World heritage

World Heritage Centre 2008, Policy Document on the Impacts of Climate Change on World Heritage Properties

World Heritage Centre 2014, Practical guide on climate change adaptation for natural World heritage sites, Series n. 37

Zehnder K. 1982, «Verwitterung von Molassesandsteinen an Bauwerken und in Naturaufschlüssen», Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie 61