

The background of the slide is a photograph of a grand, yellow, classical-style palace with a large green dome and ornate facade. In the foreground, there is a large, multi-tiered garden with a central staircase and a fountain. The garden is surrounded by tall trees and a body of water in the foreground, which reflects the palace and the garden. The scene is captured in the late afternoon or early morning, with warm lighting.

# Umwelt und Kulturgüterschutz

Der Förderschwerpunkt der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



# **Umwelt und Kulturgüterschutz**

Der Förderschwerpunkt der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



# Inhaltsverzeichnis

6 Grußwort

8 Einleitung

## 12 Digitalisierung und Kulturgüterschutz

12 Die digitale Transformation im Kulturgüterschutz

14 Die Kluft zwischen Kulturerbe und Technologie überbrücken

17 Neue Möglichkeiten durch digitale Methoden  
im Kulturgüterschutz

## 20 Klimakrise und Kulturgüterschutz

20 Statement from Andrew Potts, ICOMOS

22 Historische Garten- und Parkanlagen in Zeiten der Klimakrise

25 Baudenkmäler und Klimaschutz

## 28 Bildung für nachhaltige Entwicklung und Kulturgüterschutz

28 Der Bildungsauftrag der Welterbekonvention und Bildung  
für nachhaltige Entwicklung



32

## Projektbeispiele

32

### Digitalisierung

- 32 3D im Denkmalschutz: Rechenmodell zur Klimatisierung und denkmalverträglichen Nutzung der Schlosskapelle Celle
- 34 Mit Laser und Plasma Kulturgüter von Schadstoffen befreien
- 36 »You´ve got Mail«: Wie künstliche Intelligenz per E-Mail bei Schimmelbildung warnt

38

### Klimakrise

- 38 Historische Gärten in Zeiten der Klimakrise – Empfehlungen zur Bewahrung
- 40 Der Klimawandel verändert das Raumklima – Gefahr für Kulturgüter
- 42 Hochwasserschäden durch den Klimawandel vermeiden

44

### Bildung

- 44 Kulturgüterschutz im Schulalltag – Baudenkmäler als spannende und anschauliche Lernobjekte
- 46 Weiterbildung für Denkmalpflege und Nachhaltigkeit
- 50 Impressum



Schloss Sanssouci

## Grußwort

Unser kulturelles Erbe ist ein wichtiger Bestandteil unserer kollektiven Identität als Gesellschaft. Es stiftet Sinn und unterstützt uns darin, Vergangenheit und Gegenwart besser zu verstehen. Seine Bewahrung ist daher eine bedeutende Aufgabe und Verpflichtung gegenüber zukünftigen Generationen. Der wirksame Schutz von Kulturgütern erfordert es, Methoden und Ansätze auf dem Gebiet der Konservierung und Restaurierung fortlaufend zu verbessern und an neue Herausforderungen wie die Klimakrise anzupassen. Auch die neuen Chancen der Digitalisierung müssen in innovativen Vorhaben aufgegriffen und in praxistaugliche Schutzkonzepte überführt werden.

Mit dem Förderbereich »Umwelt und Kulturgüterschutz« leistet die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) hierzu einen wichtigen Beitrag. Seit ihrer Gründung 1990 fördert sie innovative Ansätze zum Erhalt von Denkmälern, Museumssammlungen oder dem Schutz historischer Parks und Gärten. Dabei werden die Förderthemen stetig aktualisiert, um wichtige Impulse für den Fortschritt der Konservierungs- und Restaurierungswissenschaft in Deutschland zu setzen.

In den ersten Jahren der Förderung lag der Fokus vor allem auf dem Schutz von Kulturgut vor Schadstoffen aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Heute wird eine

weitaus größere Bandbreite an Projekten gefördert, die unterschiedlichste Schadenspotenziale adressieren. So wurde mit den neuen Förderleitlinien die Klimakrise als eigenes Forschungsthema berücksichtigt. Damit ist die DBU eine der wenigen Institutionen, die Forschung zu deren negativen Folgen auf Kulturerbe fördert. Auch betrachtet die DBU digitale Technologien als Schlüssel für Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung und legt deshalb im Kulturgüterschutz einen Schwerpunkt auf Vorhaben, die digitale Lösungen sinnvoll einsetzen, beispielsweise in den Bereichen Automatisierung, Sensorik, 3D-Modellierung oder KI-gestützte Analysen zur Schadenserkenkung. Darüber hinaus nimmt die DBU den Bildungsaspekt in den Fokus. Im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung sind Projekte förderfähig, die zur Nachwuchsgewinnung und -qualifizierung in den relevanten Disziplinen beitragen. Auch können Kultur- und Naturerbestätten als Lernorte fungieren, um junge Menschen für Nachhaltigkeit zu sensibilisieren.

Mit dieser Förderstrategie hat die DBU seit 1990 mehr als 860 Projekte bei einer Förder-summe von über 149 Mio. Euro im Kulturgüterschutz gefördert. Auch zukünftig möchten wir innovative Vorhaben unterstützen, die dazu beitragen, unser kulturelles Erbe zu bewahren. Damit bringen wir nicht nur Forschung und Praxis voran, sondern sichern wichtige Zeugnisse gesellschaftlicher Schöpfungskraft und Sinnstiftung.



Alexander Bonde

**Alexander Bonde**  
Generalsekretär der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Anthropogene Einflüsse auf die Umwelt schädigen nicht nur die Natur, sondern auch national wertvolle Kulturgüter.

# Einleitung

**Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und ihr Förderthema »Bewahrung und Sicherung national wertvoller Kulturgüter vor schädlichen Umwelteinflüssen«**

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) fördert gemäß der Satzung innovative und lösungsorientierte Vorhaben zum Schutz der Umwelt in den Bereichen Umwelttechnik, Umweltforschung und Naturschutz sowie Umweltkommunikation und Kulturgüterschutz. Zentrales Leitbild der insgesamt 12 Förderthemen ist dabei die Nachhaltige Entwicklung gemäß Agenda 2030 sowie die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse über die planetaren Grenzen und die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (SDGs).

Die Grundsätze der nachhaltigen Entwicklung spiegeln sich auch im Engagement der DBU für den Kulturgüterhalt wider. Bereits bei Gründung 1990 hat die Stiftung den historischen, sozialen, ökologischen und ökonomischen Wert von Kulturerbe als Motor für Nachhaltigkeit erkannt und den Kulturgüterschutz als eine der vier zentralen Aufgaben fest in der Satzung verankert. Mit dem Förderthema »Bewahrung und Sicherung national wertvoller Kulturgüter vor schädlichen Umwelteinflüssen« konnten seitdem innovative Forschungsansätze

unterstützt und deren Implementierung in die Praxis vorangetrieben werden. Damit ist die DBU eine der wenigen verbliebenen Einrichtungen in Deutschland für die Forschung in der Konservierung, Restaurierung und Pflege von Baudenkmälern, archäologischen Funden, historischen Parks und Gärten oder Sammlungen von Museen und Archiven.

### Förderrahmen:

Förderfähig sind interdisziplinäre Projekte, bei denen es um den Erhalt von wertvollem Kulturerbe geht. Dabei müssen innovative Ansätze, Methoden, Verfahren oder Produkte entwickelt und modellhaft angewendet werden. Im Zentrum der Fragestellungen stehen die Auswirkungen anthropogener Immissionen. Dazu zählen beispielsweise verkehrsbedingte Emissionen, Schwefeldioxid oder Stickstoff, wie sie insbesondere in den 1990er Jahren freigesetzt wurden und als Niederschlag, dem sogenannten »sauren Regen«, zu irreversiblen Schäden auf Kulturgut führten. Andere Emissionen wie Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ) oder Staub stellen weitere mögliche Projektthemen dar. Die Gegenstände der Förderung sind vielfältig.

Mit der Anpassung der Förderleitlinien in 2016 nahm die DBU den anthropogen induzierten Klimawandel als eigenständigen Forschungsaspekt auf. Durch diese verstärkte Ausrichtung möchte die DBU das Bewusstsein für die negativen Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Kulturerbe stärken (siehe *Expertentexte Seite 20 ff. und Projektbeispiele Seite 40 ff.*). Denn die **Klimakrise** und damit verbunden das erhöhte Aufkommen von Naturkatastrophen und Aussterben der



Flutkatastrophe im Ahrtal (Juli 2021)

biologischen Vielfalt stellen eine der größten Bedrohungen für das Kultur- und Naturerbe dar. Klimamodelle belegen, dass der Erhalt vieler Kulturerbestätten bei höheren Erwärmungsraten nicht möglich ist und deren Anpassungsfähigkeit begrenzt sein wird. Auch werden Ereignisse wie die Flutkatastrophe im Ahrtal laut der aktuellen Klimaforschung sehr viel intensiver und häufiger auftreten und eine zunehmende Gefahr für Baudenkmale, Archive und Museen darstellen. Gleichzeitig spielt Kulturerbe eine lösungsorientierte Rolle in der Klimakrise. So sind historische Bauten ein wichtiger Hebel für die Erreichung der Effizienzziele im Gebäudebestand. Im Rahmen der adaptiven Umnutzung sind sie auch im Kontext der Ressourcenschonung von Relevanz.



Durchführung der Thermografie am Beispiel eines Kirchenfensters

Darüber hinaus unterstützt die DBU Vorhaben, die im Zusammenhang mit schadhafter Altrestaurierung stehen. Eigentlich zum Schutz von Kulturgütern eingebrachte Substanzen, wie zum Beispiel Biozide, wurden im Rahmen von ehemaligen Restaurierungsmaßnahmen zur Konservierung von Objekten angewendet. Nach heutigem Kenntnisstand sind sie jedoch eine Gefahr für Mensch und Umwelt. Auch vergangene Sanierungsmaßnahmen mit einst modernen Materialien, wie beispielsweise hydraulische Zemente, dienen der Instandsetzung von historischen Bauwerken, können jedoch aufgrund von Unverträglichkeitsreaktionen der Stoffe zu erheblichen Bauschäden führen.

Ein weiterer Fördergegenstand sind Weiterqualifizierungsangebote. Denn für die DBU ist die Kommunikation von Problemstellungen und entsprechenden Lösungswegen in die unterschiedlichen Fachdisziplinen ein wichtiges Anliegen. Schließlich ist ein langfristiger Erhalt ohne die Kenntnis über Schadenszusammenhänge oder geeignete Ansätze zur Behebung nicht möglich.

Auch können Projekte zur Lösung von Konflikten an der Schnittstelle von Denkmal-, Natur- und Kulturlandschaftsschutz sowie Projekte, die Kinder und Jugendliche adressieren, Bestandteil einer Förderung sein. Mit dieser Schwerpunktsetzung (*siehe Projektbeispiele S. 46 ff.*) möchte die DBU dem Thema »Kulturerbe« eine stärkere Bedeutung in der formalen und außerschulischen **Bildung** einräumen, junge Menschen aller Altersstufen für das Tätigkeitsfeld begeistern und ein stärkeres öffentliches Engagement für die Erhaltung von Kulturerbe in der Gesellschaft fördern. Die DBU leistet hier einen Beitrag, die Nachhaltigkeitsziele, wie sie in der Strategie der Bundesregierung für Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) definiert sind (*siehe S. 28 ff.*), im Kulturerbebereich voranzutreiben. Ziel ist, das Bildungspotenzial, das historische Stätten als besondere Lernorte zum Beispiel in der Klimabildung haben, stärker in den BNE-Strategien zu verankern und in der eigenen Fachdisziplin voranzutreiben.

Ein weiteres Querschnittsthema ist die **Digitalisierung** (*siehe S. 12 ff.*). Denn der Erhalt historischer Artefakte erfordert nicht nur restauratorische Kenntnis, sondern auch Forschung

und daraus resultierende Hightech-Lösungen. Digitale Technologien bieten hier neue Möglichkeiten für die Bewahrung kultureller Inhalte und einen verbesserten Zugang zu ihnen. Gleichzeitig ist Kulturerbe Anwendungsfeld für innovative Technologien, beispielsweise für digitale Bilderfassungs-Systeme wie Terahertz-Messtechnik oder Multispectral Imaging, mit denen strukturelle Merkmale entdeckt werden können, oder IoT, Sensorik oder KI, die ein intelligentes Monitoring oder eine automatische Detektion von Schäden erlauben.

**Kriterien für eine Förderung:**

Vorhaben können eine Förderung durch die DBU erhalten, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

1. Das zu untersuchende Objekt und/oder die zu untersuchende Sammlung ist von besonderer Bedeutung.
2. Das zu untersuchende Objekt und/oder die zu untersuchende Sammlung ist von anthropogenen Umwelteinflüssen geschädigt und/oder durch solche gefährdet.
3. Die zu verfolgenden Methoden oder Ansätze gehen über den bisherigen Stand der Technik hinaus und sind innovativ.
4. Die vorgesehenen Lösungsansätze werden modellhaft untersucht und sind übertragbar.
5. Die Projektergebnisse müssen in Öffentlichkeit und Fachwelt zielgruppenspezifisch kommuniziert werden.



**Constanze Fuhrmann**

Die vorliegende Broschüre gibt Einblicke in die Vielfalt des Förderthemas »Bewahrung und Sicherung national wertvoller Kulturgüter vor schädlichen Umwelteinflüssen«. Sie zeigt Herausforderungen aus der Praxis, die durch innovative DBU-Projekte beispielhaft gelöst werden konnten. Gleichzeitig möchte sie diese herausragenden Projekte zu den Schwerpunktthemen »Digitalisierung«, »Bildung« und »Klimakrise« bekannt machen und zu weiteren Initiativen Anregung geben.

**Constanze Fuhrmann**

Leiterin des Referats Umwelt und Kulturgüterschutz der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

# Digitalisierung und Kulturgüterschutz

## Die digitale Transformation im Kulturgüterschutz



Hochauflösender 3D-Scan des Tafelgemäldes von Lucas Cranach dem Jüngeren in der Schlosskirche von Augustusburg zum Zwecke der Bestandsdokumentation.

Digitale Technologien prägen mittlerweile alle Lebensbereiche grundlegend. Auch die Erfassung, Bewahrung und Vermittlung von Kulturerbe wird durch die Digitalisierung stark verändert, indem sie neue Ansätze für die Praxis und die Zusammenarbeit von Archäologen, Restauratoren, Denkmalpflegern und anderen Experten eröffnet.

Gerade angesichts der ökologischen Herausforderungen, die die Klimakrise stellt, kann die Digitalisierung einen wichtigen Beitrag zum Kulturguterhalt leisten. Umweltverschmutzung, Überschwemmungen oder Winderosion können Kulturgut dauerhaft schädigen oder zerstören. Digitale Technologien ermöglichen es, solchen Bedrohungen besser und frühzeitiger entgegenzuwirken – mit vielfältigen Einsatzbereichen.

Mit Internet-of-Things (IoT)-Anwendungen, die Sensorik mit fortschrittlichen Datenanalyse-Methoden kombinieren, können Umwelteinflüsse kontinuierlich überwacht und potenzielle Schäden an wertvollen Kulturgütern effektiv verhindert werden. Ebenso ermöglicht es die Integration eines IoT-basierten Überwachungssystems, Umweltparameter wie Luftfeuchtigkeit und Temperatur präzise in Echtzeit zu erfassen und zu analysieren, darüber Betriebskosten zu senken und die Aufwände für Restaurierungsmaßnahmen zu reduzieren. Auch können IoT-Lösungen die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen entscheidend unterstützen.

Künstliche Intelligenz und Machine Learning ermöglichen es, Schadensanalysen und -dokumentation stärker zu automatisieren und darüber wertvolle Kulturgüter besser zu schützen. Ein Beispiel dafür ist die automatische Auswertung auf Schadensmerkmale von Bild- und Videomaterial, das im Rahmen von Drohnenflügen rund um historische Stätten gewonnen wird.

Die 3D-Erfassung und -Visualisierung von Objekten schafft innovative Formen der Vermittlung von Kulturerbe im Rahmen von Ausstellungen und Bildungsangeboten, etwa durch immersive Angebote auf der Basis von Augmented oder Virtual Reality. Sie eröffnet auch neue Möglichkeiten der wissenschaftlichen Analyse und Kooperation. Mit 3D-Modellierung und formbasierten Analysemethoden lassen sich archäologische Funde oder fragmentarische Objekte virtuell rekonstruieren und durch Abgleich mit großen Datenbanken schneller identifizieren. Neue Ansätze sind außerdem im Bereich des Schadensmonitoring von komplexen Gebäudestrukturen zu finden, beispielsweise bei der Sensordatenfusion von 3D- mit Multispektral- und thermalen IR-Daten, worüber bislang unbekannte Materialschäden nicht-invasiv detektiert werden.

Die in der vorliegenden Broschüre genannten Beispiele zeigen die Bandbreite des Einsatzes von digitalen Technologien in der Restaurierungs- und Denkmalpraxis sowie deren großes Potenzial für den Kulturguterhalt. Viele heute noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium befindliche Ansätze werden in den kommenden Jahren zu

Standardwerkzeugen für Restauratoren und Denkmalpfleger werden und ihre Arbeit einfacher und effizienter machen. Dies erfordert neben der Förderung derartiger Technologien wie durch die DBU auch neue Wege in der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Die Spannweite der Tätigkeiten im Feld der Restaurierung, Archäologie und Denkmalpflege wird sich vergrößern und digitale Themen werden einen festen Platz in der beruflichen Qualifikation einnehmen.

### **Constanze Fuhrmann**

Leiterin des Referats Umwelt und Kulturgüterschutz der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

# Die Kluft zwischen Kulturerbe und Technologie überbrücken

## 1. Die Digitalisierung verändert die Arbeit rund um den Erhalt von Kulturgütern. Wie lässt sich der Denkmalschutz mit digitalen Technologien vereinen?

Neben den am Bauwerk ausgeführten Inventarisierungen und der Bauwerksinstandsetzung halten insbesondere im Bereich der Dokumentation immer mehr digitale Werkzeuge Einzug in die Praxis des Denkmalschutzes. Beispiele sind Datenbanken für Orte, Denkmalwürdigkeit und Details von Bauwerken, Geoportale wie der Bayernatlas mit Einzeldenkmalen und Ensembles oder digitale 3D-Dokumentationsmethoden für unterschiedliche Aufgaben. Die konkrete Anwendung digitaler Technologien am Objekt wird am Kompetenzzentrum Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien in Bamberg analysiert und weiterentwickelt. Der Fokus liegt dabei auf den klassischen verformungsgerechten Bauaufmaßen und den berührungslosen 3D-Aufnahmen durch Fotogrammetrie und 3D-(Laser-)Scanning sowie auf multimodalem und optotechnischem Monitoring zur Zustandserfassung eines Bauwerkes. Grundlagen für die qualitätsvolle Durchführung der digitalen Dokumentation sind messtechnische und ingenieurtechnische Grundsätze, die von denkmalpflegerischen und konservatorischen Fragestellungen geleitet sein müssen.



Prof. Dr. Mona Hess

Allgemein lässt sich festhalten, dass sich Denkmalschutz und Denkmalpflege gut mit digitalen Methoden vereinbaren lassen. Voraussetzung ist nur die Bereitschaft, diese neuen Methoden und digitalen Datenmanagement-Systeme in den Alltag der Denkmalpflege zu integrieren, sowie die Notwendigkeit, eine digitale Infrastruktur bereitzustellen.

## 2. Wie lässt sich Umweltschutz mit Denkmalpflege mittels digitaler Methoden kombinieren?

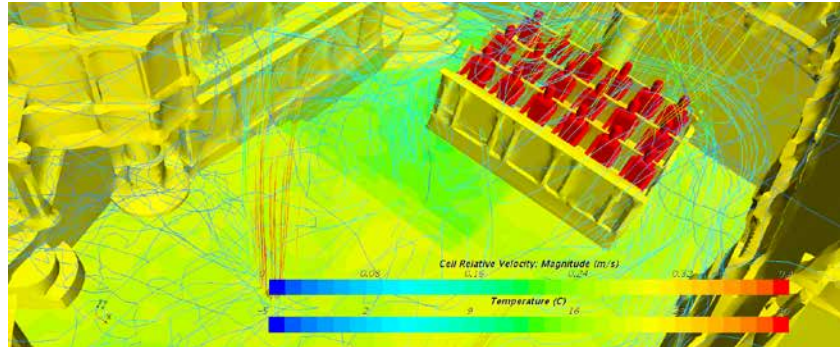
Die Bauphysik und das ingenieurtechnische Monitoring bedienen sich neuer digitaler

Sensoren am Bauwerk, berührungsfreier Aufnahmetechnologien und naturwissenschaftlicher Ansätze. Darüber können Schlussfolgerungen zur Energieeffizienz von Gebäuden oder über deren Beeinträchtigung durch Umwelt und Wetter getroffen werden. Dies kann einen positiven Einfluss auf die zu planenden und zu ergreifenden Maßnahmen haben, die das Ziel der Energieeffizienz und den nachhaltigen Schutz von historischen Gebäuden verfolgen. Ermöglicht wird ein achtsamer Umgang mit endlichen Ressourcen bei der Sanierung historischer Bausubstanz.

### 3. Wo sind digitale Technologien schon jetzt präsent und welche Maßnahmen und Methoden haben sich bereits bewährt?

Viele der Technologien, beispielsweise optische, bildgebende Verfahren, sind im Ingenieurwesen, in der Architektur, der Industrie oder der Medizin längst zu Standardanwendungen geworden. Sie haben sich dort bewährt, wo die Datenaufnahme mindestens einer der folgenden Voraussetzungen entsprechen muss:

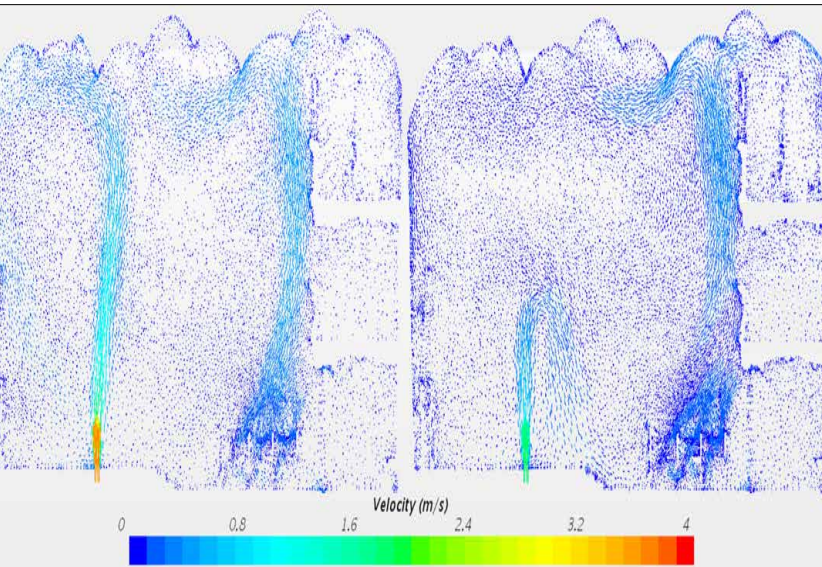
- vor Ort – auch relativ schnell – durchzuführen,
- (meist) berührungsfrei,
- Sammlung von »digital born«-Daten unter Produktion von großen Datenmengen in kurzer Zeit,
- (meist) reproduzierbare Messungen,
- Wiederauffindbarkeit der Daten,
- Abfragbarkeit nach Kategorien,
- sofort oder nachträglich auswertbar mit der entsprechenden informatischen Ausstattung.



Strömungssimulation: Ablenkung der Stromlinien um die Bänke der Celler Schlosskapelle; Berechnung unter Annahme von 322 m<sup>3</sup>/h Anlagenleistung

Es hat sich in der Denkmalpflege durchgesetzt, Daten von Bauwerken auch im dreidimensionalen, oder sogar virtuellen Raum (VR) zu inspizieren, ohne vor Ort zu sein. Ein Teilen der Daten mit anderen Experten in der ganzen Welt und ein Diskurs über die Ergebnisse von Bauwerksuntersuchungen trägt aktiv zum Verständnis unseres kulturellen Erbes bei. Weiterhin eignen sich die digitalen Methoden besonders zur zeitnahen Dokumentation von gefährdetem (Welt-)Erbe und für den Katastrophenschutz. Eine automatisierte Überwachung von historischen Konstruktionen durch motorbetriebene Drohnen oder Roboter findet aktuell in Notre Dame statt. Diese neu aufgenommenen Geometrien werden mit dem Scan verglichen, den die Universität Bamberg 2017 aufnehmen konnte.

Methodisch schlagen wir im 21. Jahrhundert mit der Nutzung digitaler Technologien ein neues Kapitel auf. Analysen können mit digitalen Datensätzen erstellt werden, die vorher aufgrund der Datenmenge oder



Strömungssimulation: Vergleich der Strömungen bei unterschiedlicher Leistung der Anlage in der Celler Schlosskapelle; rechts 322 und links 644 m<sup>3</sup>/h

Auswertbarkeit von analogen Daten nicht möglich waren. Beispiele sind das Bauwerksmonitoring durch Korrelationen von Oberflächendaten mit naturwissenschaftlichen Daten über einen größeren Zeitraum hinweg (beispielsweise Temperatur und Luftfeuchte), die automatisierte Segmentierung und die Analyse von 3D-Daten von Denkmalgebäuden sowie ein (geometrischer) Vergleich von Typologien zahlreicher Bauwerke oder Kunstobjekte. Auch können infrastrukturelle und materielle Informationen von Bauwerken durch Building Information Modelling auf der Basis von »reality capture« eingepflegt werden.

#### 4. Wo bleibt das Potenzial der Digitalisierung in Bezug auf den Erhalt und den Schutz, aber auch der kulturellen Vermittlung von Denkmälern noch ungenutzt?

Digitale Innovation und ICT (Information and Communication Technologies) haben ein erhebliches Potenzial zur Unterstützung neuer Lösungen in der Denkmalpflege und den Denkmalwissenschaften. Doch erfordern sie dringend einen nachhaltigen Informationslebenszyklus. Beide Aspekte müssen von informierten Akteuren berücksichtigt werden, die über ein neues Bildungsprofil verfügen (beispielsweise der neue M.Sc. Digitale Denkmaltechnologien an der Universität Bamberg), welches die Kluft zwischen Kulturerbe und Technologie überbrückt. Die transformative Wirkung der Ausbildung der nächsten Generation, die sowohl die Nachhaltigkeit des Bauwesens als auch die Werte und die Erhaltung des kulturellen Erbes im Blick hat, wird die kulturelle Vermittlung von Denkmälern und der Disziplin Denkmalpflege in der Zukunft sicherstellen.

#### Prof. Dr. Mona Hess

Professorin für Digitale Denkmaltechnologien, Kompetenzzentrum Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien (KDWT), Otto-Friedrich-Universität Bamberg

# Neue Möglichkeiten durch digitale Methoden im Kulturgüterschutz

Die Restaurierung und Konservierung ist und wird (auf absehbare Zeit) kein rein digitaler Prozess werden. Für eine sachgerechte und auf dauerhaften Erhalt angelegte Restaurierung und Konservierung sind gut ausgebildete Fachkräfte notwendig, da der eigentliche Vorgang am Objekt vor allem eine handwerkliche Tätigkeit ist. Doch sind auch hier digitale Prozesse und Methoden, zum Beispiel in der Planungs-, Analyse-, und Dokumentationsphase anzuwenden, die etablierte Abläufe erweitern beziehungsweise ersetzen können.

## Digitale Erfassung von Objekten

Vor jeder größeren Maßnahme in der Baudenkmalpflege werden der Bestand und der Zustand eines Objektes mittels Kartierungen erfasst. Bis vor wenigen Jahren waren hier reine Handzeichnungen üblich. Diese klassische Erfassung mit Papier und Bleistift ist noch nicht überflüssig geworden, doch halten heute verfügbare Möglichkeiten der digitalen CAD-Planerstellung und der digitalen Vor-Ort-Kartierung zunehmend Einzug in die Praxis. Die neuen digitalen Methoden erweitern sukzessive den Methodenbaukasten. Ein Vorteil digitaler, maßstabsgerechter Pläne liegt zum Beispiel in der Massenermittlung bei Ausschreibungen, da damit, quasi auf Knopfdruck, die Fläche für eine restauratorische Maßnahme errechnet werden kann.



Prof. Dr. Paul Bellendorf

## Interdisziplinäre Herangehensweise

Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen verlangen eine interdisziplinäre Herangehensweise. Hier können digitale Prozesse und Methoden dazu dienen, diese notwendige interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern, indem beispielsweise Pläne und Kartierungen unterschiedlicher Fachdisziplinen übereinandergelegt und miteinander verglichen werden können.

Die Digitalisierung kann vor allem den Bereich der Datenaufnahme, der computer-gestützten Interpretation, des Monitorings und der Archivierung vorantreiben. So halten immer mehr minimalinvasive beziehungsweise berührungslose Methoden Einzug in die analytische Zustandsbeurteilung von Kunst- und Kulturgütern.



3D-Scan am Kaisergrab im Bamberger Dom

Multispektralaufnahmen, (hochauflösende) 3D-Scans oder vor Ort durchgeführte Materialanalysen erzeugen große Datenmengen. Im Nachgang zur Datenerfassung müssen diese nicht nur für sich selbst aufbereitet, sondern für ein ganzheitliches Bild idealerweise noch miteinander kombiniert werden. Es besteht aktuell ein großes Desiderat in der teilautomatisierten Aufbereitung und Verknüpfung dieser Daten, beispielsweise mit Methoden aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz. Teilautomatisiert deshalb, da die abschließende Interpretation immer durch einen Fachexperten erfolgen sollte.

### **Chancen für den Mittelstand**

Digitale Prozesse können kleine und mittelständische Unternehmen im Handwerk unterstützen und konkurrenzfähig machen. So können über Rapid Prototyping Einzelstücke oder Kleinserien geschaffen sowie auf Basis von CAD-Daten Restaurierungsvarianten im Modell veranschaulicht oder passgenaue Einzelstücke gefertigt werden. Die hier vorhandenen Potenziale gilt es jedoch vollumfänglich zu nutzen.

### **Grenzen der Digitalisierung**

Bei all dem Vorteil, den die Digitalisierung mit sich bringt, darf nicht vergessen werden, dass wir es mit realen Objekten und deren Interaktion mit der Umwelt zu tun haben. Die Digitalisierung darf nicht zum Selbstzweck verkommen. Ein materielles Kulturgut ist ein hochkomplexes Objekt, das nicht auf seine Oberfläche und einen Ist-Zustand reduziert werden darf. Das Material und seine Alterung, die Herstellungs- und Restaurierungsgeschichte sowie die kulturgeschichtliche Perspektive machen das Kulturgut erst aus. Ein texturiertes 3D-Modell repräsentiert daher noch keinen »digitalen Zwilling« eines Objektes. Der Erhalt und die Erforschung des Kulturguts müssen auch weiterhin im Mittelpunkt stehen. Digitale Methoden und Prozesse können hilfreich sein: Es darf aber nicht vergessen werden, was sie eigentlich sind: nämlich Werkzeuge, die zum dauerhaften Erhalt des materiellen Erbes beitragen können.

### **Prof. Dr. Paul Bellendorf**

Professor für Restaurierungswissenschaft  
Kompetenzzentrum für Denkmalwissenschaften und Denkmaltechnologien (KDWT)  
Otto-Friedrich-Universität Bamberg



3D-Modell des Bamberger Reiters

# Klimakrise und Kulturgüterschutz

## Statement from Andrew Potts, ICOMOS

**Climate Change and Heritage Working Group on the topic of cultural heritage and climate change and why research and international networking is important:**

For too long, the intersections of climate change and cultural heritage have been overlooked. Climate science has been dominated by the physical sciences, whose quantitative methods contrast with both the qualitative approaches of heritage-aligned social scientists and the diverse knowledge systems of local communities. Climate policy has emphasised technological and market-based solutions. »Western« models that silo nature and culture have cut off cultural heritage from environmental policy, while colonial legacies have impeded alliances between cultural institutions and Indigenous Peoples already sounding the alarm about cultural extinction.

Increasingly, it is clear that integrating culture, heritage and climate change is not only desirable but imperative. The UN Environment Programme's 2021 emission gap report found that, despite years of effort, the world is dangerously off course to meeting the Paris Agreement mitigation target of reducing greenhouse gas (GHG) emission enough to hold warming to 1.5°C. Downscaled climate models tell us that in situ conservation of many heritage places will not



**Andrew Potts**

be possible if these rates of warming persist. Clearly, an understanding of climate change is now central to cultural heritage protection.

What's more, an understanding of cultural heritage is central to tackling climate change. UN Secretary General Guterres recently called raising GHG emission and the corresponding deepening of climate vulnerability »a damning indictment of failed climate leadership.« Failed how? One growing critique holds that prevailing models of climate planning are falling short

precisely because they miss factors less easy to quantify including the historical and social context of the climate crisis. They miss demand-side, people-centred, place-based approaches. They miss culture and heritage.

Correcting these shortcomings took an important step forward in December 2021 with the International Co-Sponsored Meeting on Culture, Heritage and Climate Change. Co-sponsored by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the world's leading climate science body, along with ICOMOS and UNESCO, the Meeting marked the first time in IPCC history that scientists and experts working in these areas were brought together in one forum. Critical financial support for this ground breaking event was provided by the German Federal Environmental Foundation (Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU) as well as other funders.

Nearly 100 scientists, policymakers, practitioners, and traditional knowledge holders participated in 15 virtual sessions during the week of 6 December, helping to develop and review the state of knowledge regarding connections of culture, heritage and climate change and to identify gaps.

A Meeting Report due in mid-2022 will address ways to catalyse research and collaboration around culture, heritage and climate change. The report is also expected to provide culture and heritage inputs into key climate science initiatives being launched as part of the IPCC's forthcoming Seventh



10-kW-Solaranlage auf dem Dach der Kirche St. George in Kempton, UK, die jährlich 10 500 kW Strom erzeugen soll. Die Kirche wurde in den 1820er Jahren erbaut und steht unter Denkmalschutz (Grade II).

Assessment cycle (AR7) such as a Special Report on Cities. A parallel process organised by ICOMOS Germany and the DBU is helping to further explore these issues in the German context.

#### **Andrew Potts**

Coordinator of the International Council on Monuments and Sites' Climate Change and Heritage Working Group

# Historische Garten- und Parkanlagen in Zeiten der Klimakrise

## 1. Wie sind historische Garten- und Parkanlagen vom Klimawandel betroffen und was wurde bereits unternommen, diese Kulturgüter davor zu bewahren?

Klimawandelbedingte Phänomene wie beschleunigter Temperaturanstieg, die sommerliche Niederschlagsabnahme sowie ansteigende Wetterextreme wie Stürme und Starkregen bedrohen zunehmend historische Garten- und Parkanlagen (vgl. *Berichte des Weltklimarats IPCC*).

Die Auswirkungen sind vielfältig: die Vegetationszeit verlängert sich, der frühere Blühbeginn verursacht im Zusammenhang mit Spätfrösten eine Schwächung der Vegetation. Höhere Verdunstungsgrade und Trockenstress bei Hitzewellen bewirken geringeren Holzzuwachs oder Schädigungen wie das Aufplatzen von Baumrinden. Mit dem Auftreten von Schädlingspopulationen in milden Wintern wird insbesondere die Gehölzvegetation zusätzlich geschädigt.

Gleichzeitig nehmen die Sommerniederschläge weiter stark ab. Die Wasserversorgung historischer Garten- und Parkanlagen ist ebenso gefährdet wie die künstlich angelegten Gewässer wie Bachläufe, Teiche und Seen, die drohen auszutrocknen oder zu eutrophieren. Zudem häufen sich spürbar Wetterextreme. Orkanartige Stürme reißen



Prof. Dr. Michael Rohde

Bäume um oder zerstören Bauwerke und Architekturen. Starkniederschläge bis zu 100–200 l/m<sup>2</sup> in wenigen Stunden haben seit den 1950er Jahren um mehr als 20 Prozent zugenommen. Diese führten lokal zu verheerenden Sturzfluten mit Erosionen an Parkwegen oder Sachschäden an Gebäuden.

## 2. Welche Anpassungsstrategien gibt es vor allem in Bezug auf zunehmende Klimaextreme?

Die Klimaanpassungsstrategien für historische Garten- und Parkanlagen zielen auf die Widerstandskraft der Vegetation, auf die Vorbeugung zur Gefahrenabwehr gegenüber Wettextrremen, auf den Schutz der Denkmalsubstanz einschließlich des Bodenschutzes bis zur Rettung von Altbäumen. Zur Gewähr-

leistung einer effektiven Bewässerung sollte der Rückhalt von Niederschlägen zur Minimierung des Regenwasserabflusses, die notwendige Bereitstellung von Oberflächenwasser (Brauchwasser) oder Grundwasser optimiert werden. Zu Schutzmaßnahmen gegenüber Hochwasserhavarien sind Deichbefestigungen und mobile Schutzdeiche in Betracht zu ziehen. Die Erhöhung der Nährstoffverfügbarkeit und der Wasserspeicherkapazität für Bodenstandorte ist ebenso relevant.

### **3. Welchen konkreten Beitrag können diese Kulturgüter zum Umwelt- und Klimaschutz leisten?**

Historische Garten- und Parkanlagen tragen aufgrund ihrer geschichtlichen und künstlerischen Werte zur Identitätsbildung, zur Kultur und Bildung bei und sind damit zugleich sozioökonomischer Standortfaktor für den Tourismus und die Arbeitsplatzsicherung. Sie sind ebenso für den Naturschutz und die Sicherung von Biodiversität von hohem Wert, da rund ein Fünftel der Flora und Fauna Deutschlands hier anzutreffen sind (*vgl. EU-Biodiversitätsstrategie 2011*). Stadtnahe Gärten und Parks bieten darüber hinaus vielfältige mikroklimatische Effekte, erzeugen Verdunstungskühle und gute Luftqualität. Die Wohlfahrtswirkungen von Gärten sind ähnlich hoch wie die von Wäldern, betrachtet man ihre fördernde Wirkung in Bezug auf Entspannung und Stressabbau oder auf Lebensqualitäten durch Bewegung, Kunstveranstaltungen, Kreativität und Naturwahrnehmung. Ein weiterer Aspekt liegt in den positiven Einflüssen auf das Mikroklima und die Pufferung



Absterbende Rotbuchen

von Wetterextremen, die Wasserwirtschaft und die Bodenkultur. Damit wird auch der Beitrag der Gärten zum Klimaschutz erklärbar – ähnlich wie bei den Wäldern. So binden auf rund 500 Hektar rund 50 000 Altbäume 175 000 t CO<sub>2</sub>.

### **4. Welche nachhaltigen Maßnahmen müssen zur Erhaltung dieser Anlagen zukünftig ergriffen werden?**

Die aufgrund des Klimawandels verursachten Zukunftsprobleme für die Gärten sind identifiziert. Doch bedarf es der – politischen und gesellschaftlichen – Stärkung zweier Ausrichtungen.

Zum einen müssen ausreichende Mittel für Forschungsprojekte zur Verfügung gestellt werden, die Erfahrungswissen der Parkleitungen mit externen Expertisen beispielsweise aus den Naturwissenschaften verbinden. Forschungsprojekte ermöglichen es, neue Erkenntnisse über wissenschaftliches Monitoring zu begleiten, auszuwerten und über verschiedene Plattformen zu vernetzen.

Zum anderen bedarf es aber auch finanzieller Mittel, um in Zeiten des Klimawandels den Auftrag der Bewahrung von grünen Kulturgütern nachhaltig zu gewährleisten. Ein erhöhter Bedarf liegt hier in der personellen Ausstattung, insbesondere der täglichen Fachpflege sowie der Infrastruktur. Der Aufwand hat sich seit Jahren deutlich erhöht, zum Beispiel in Bezug auf Baumkontrollen und Baumpflege, auf Nachpflanzungen (Baumschulen), auf die Eindämmung von Schädlingsbefall durch Pilze, Bakterien oder Insekten, auf die nachhaltige Wegepflege oder das Wassermanagement.

##### **5. Welche Besonderheiten gilt es dabei in der Gartendenkmalpflege zu beachten?**

Gärten sind »lebende Denkmäler« – die einzige Kategorie wertvoller Kulturgüter, die in ihrer authentischen formal-künstlichen Ausprägung durch Nachpflanzungen und stetige Fachpflege regenerierbar sind. Aber: Gartenkunstwerke sind leicht veränderbar und instabil, weil sie den biologischen Gesetzen des Wachsens, Alterns und Absterbens unterliegen. Sie bedürfen daher eines besonderen Schutzes und einer aufmerksamen Pflege. Ihre künstlerische Gestaltung erfolgte durch weitgehend stabile Elemente wie Bodenreliefs, Mauern, Wege- und Wasseranlagen, auch Bäume sowie andere bauliche oder plastische Ausstattungen, vor allem aber durch die instabilen Elemente der Vegetation, also Sträucher oder Blumenarrangements.

Die Gartendenkmalpflege als akademische und handwerkliche Disziplin der »Konservierungs- und Restaurierungswissenschaften«

gehört zur Fachrichtung Landschaftsarchitektur und arbeitet nach einer spezifischen Denkmalmethodik, um die Erlebbarkeit von Zeugnis-, Geschichts- und Kunstwerten nachhaltig bewahren zu können.

Es muss in Zeiten der Umweltveränderungen auch experimentell reagiert werden, weil der Erfolg des Anwachsens von Gehölzen oder der Wirksamkeit von Bodenverbesserungen erst nach einigen Jahren messbar und sichtbar werden kann. Deshalb ist ein wissenschaftliches Monitoring unter Einbeziehung von Fachkenntnissen wie jene der (angewandten) Forstwissenschaften, der hydrologischen Wissenschaften oder der Naturwissenschaften zunehmend von Bedeutung.

##### **Prof. Dr. Michael Rohde**

Gartendirektor der Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg

# Baudenkmäler und Klimaschutz

## 1. Wie hängen Klimaschutz und der Schutz von Kulturgütern zusammen?

Klimaschutz bedeutet zweierlei – zum einen geht es um die Reduzierung von Treibhausgasen und zum anderen geht es um den Schutz vor den Auswirkungen des Klimawandels. Beides lässt sich auch auf Kulturgüter insbesondere auf Baudenkmäler und auf den historischen Baubestand anwenden. Die Reduzierung von Treibhausgasemission ist eng mit der Energieeffizienz verbunden. In Europa verbrauchen Gebäude mit Abstand die meiste Energie und tragen zu etwa einem Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Selbst bei neuen, energiesparenden Gebäuden ist die Hälfte der Auswirkungen auf die Umwelt bereits erreicht, noch bevor sie überhaupt in Betrieb genommen werden. Deshalb sollte bei bestehenden Gebäuden und vor allem bei denkmalgeschützten Gebäuden die Graue Energie mehr in den Fokus rücken. Dabei muss eine ganzheitliche Bilanzierung auch die zukünftige klimatische Situation, also der Klimawandel, beim Betrieb der Gebäude (Heizung, Kühlung Be- und Entfeuchtung, Beschattung) sowie bei der Instandhaltung von Gebäuden in Betracht gezogen werden. Ein zentraler Diskussionspunkt innerhalb der Arbeit der EU-Expertengruppe »Klimawandel und Kulturerbe«, die in 2021 ihre Arbeit aufgenommen hat, ist die Betrachtung der gesamten CO<sub>2</sub>-Bilanz von historisch wertvollen und denkmalgeschützten Gebäuden, die mit ihrer langen Lebensdauer und bereits bei der Errichtung klimafreundlicher sind als Abriss



Dr. Johanna Leissner

und Neubau. Unser Kulturerbe kann wesentlich zur Bekämpfung der Klimakrise beitragen. Es stellt eine reiche Ressource dar, wie unsere Vorfahren mit Klimaveränderungen umgegangen sind, welche nachhaltigen Lösungen sie entwickelt haben, die wir uns heute wieder in Erinnerung rufen sollten. Ein gutes Beispiel sind hierfür die traditionellen Bauweisen der Gebäude, die sich am Klima und den verfügbaren lokalen Ressourcen orientiert haben.

## 2. Welche Veränderungen in unserer Umwelt stellen aus Ihrer Sicht kurz- und langfristig die größten Gefahren für Baudenkmäler dar?

Als Hauptgefahren sehe ich die Folgen von Extremklimaereignissen wie Extremniederschläge, Hitzewellen oder langanhaltende

Trockenperioden, deren Auswirkungen in den letzten Jahren vor allem in den historischen Gärten und Kulturlandschaften verstärkt wahrgenommen werden konnten. Für viele EU-Mitgliedsländer ist auch der Meeresspiegelanstieg eine stets größer werdende Gefahr, da sich viele Kulturerbestätten entlang der Küstenlinien befinden. Als weitere Gefahren sind indirekte Folgen wie sozioökonomische Auswirkungen oder demographischer Wandel zu nennen. Aber auch der schleichende, langsame Klimawandel schädigt Kulturerbe. Dabei geht es um die Beschleunigung von Korrosionsprozessen durch höhere Temperaturen und um die generelle Veränderung des Klimas insgesamt – Regenfälle, Sonneneinstrahlung, Windstärken und Windrichtungen, Tag- und Nachtunterschiede, Frost-Tau-Zyklen, absolute Feuchte, um nur ein paar Klimaparameter zu nennen. Diese Korrosionsprozesse werden in Zukunft wesentlich schneller ablaufen, daher gilt es schon heute nach Lösungen zu suchen, wie man entgegenwirken kann.

### **3. Wo sehen Sie notwendige Instrumente und Forschungsbedarfe zur Sicherung wertvoller Kulturgüter und durch welche Maßnahmen erwarten Sie den größten Erfolg?**

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kulturgüter sind hochkomplex, daher brauchen wir vor allem multidisziplinär zusammengesetzte Teams bestehend aus Klimawissenschaftlern, Natur- und Ingenieurwissenschaftlern, Restauratoren, Handwerkern und Planungsbüros, die mit den Denkmalämtern eng zusammenarbeiten.

Die multidisziplinäre Zusammenarbeit wird zwar immer gefordert, sie ist aber keineswegs einfach: sie muss eingeübt werden und braucht Zeit und Vertrauen in die am Entscheidungsprozess beteiligten Menschen. Das wird vielfach komplett übersehen. Ein wichtiges Ergebnis aus der EU-Expertengruppe ist, dass es vor allem die Forschung ist, die Lösungen und Instrumente erarbeitet wie Kulturgüter geschützt werden können. Und genau hier hapert es in Deutschland – es gibt in Deutschland kein nationales Forschungsprogramm, das Kulturgüter in Zeiten des Klimawandels zum Inhalt hat. Deutschland ist ja nicht nur eine große Wirtschaftsmacht, sondern auch ein großes Kulturland. Deshalb beschämt es mich, wenn ich meinen europäischen Kolleginnen und Kollegen immer wieder berichten muss, dass sich in Deutschland forschungsmäßig so gut wie nichts tut – mit Ausnahme der innovativen Projekte, die von der DBU gefördert werden.

#### **Dr. Johanna Leissner**

Wissenschaftliche Repräsentantin der Fraunhofer-Gesellschaft, Forschungsallianz Kulturerbe (EU-Büro Brüssel)



Das bezaubernde Lächeln der Reglindis im Naumburger Dom trägt: Denn wegen der Auswirkungen des Klimawandels ist das Kulturerbe in Deutschland und anderswo durch Hitze, Stürme und Starkregen zunehmend in Gefahr.

# Bildung für nachhaltige Entwicklung und Kulturgüterschutz

## Der Bildungsauftrag der Welterbekonvention und Bildung für nachhaltige Entwicklung

### Der Bildungsauftrag der Welterbekonvention

Das Erbe der Menschheit für heutige und zukünftige Generationen zu bewahren, ist das Anliegen des Übereinkommens zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt – kurz der Welterbekonvention. 1972 verabschiedet, zählt die Konvention heute mit 1 154 Kultur- und Naturerbestätten in 167 Ländern zu den wichtigsten Instrumenten für den Erhalt von Erbe weltweit. Ihr zugrunde liegt die in der Präambel formulierte Einsicht, dass Erbestätten zunehmend durch Verfall und Zerstörung bedroht und nationale Schutzmaßnahmen oft unzureichend sind.

In der Welterbekonvention sind dafür technische Verfahren zur Erfassung und zum Schutz sowie Prozesse internationaler Zusammenarbeit definiert. Mindestens ebenso bedeutend für eine erfolgreiche Umsetzung der Welterbekonvention in der Zukunft ist der dort verankerte Bildungsauftrag. Obwohl die Konvention 1975 in Kraft trat, begann dessen Umsetzung relativ spät. 1994 gründete die UNESCO das »World Heritage Education Programme« (WHEP), welches sich insbesondere an junge Menschen richtet.



Claudia Grünberg

Doch erst um die Jahrtausendwende gewann Welterbe-Bildung politische und institutionelle Relevanz. Bildung wurde formal im Welterbeverfahren verankert, 2005 in die Umsetzungsrichtlinien der Welterbekonvention aufgenommen (*UNESCO 2019*), in die periodische Berichterstattung der Welterbestätten an die UNESCO integriert und ihre Integration in Managementpläne empfohlen (*UNESCO, ICCROM et al., 2013*). Parallel dazu wurden im Rahmen des WHEP didaktische und praktische Maßnahmen

umgesetzt, unter anderem das bis heute einzige Unterrichtsmaterial der UNESCO zum Welterbe »World Heritage in Young Hands – Educational Ressource Kit for Teachers«.

Betrachtet man jedoch die Bildungsziele der Konvention und ihre Ergebnisse, klappt auch noch 50 Jahre nach Verabschiedung der Welterbekonvention der Bildungsauftrag und seine Umsetzung weit auseinander. Obwohl Welterbestätten als besondere Lernorte anerkannt sind und ihnen per se Bildungspotenzial zugesprochen wird (*Dornbusch et al., 2018*), gibt es kaum theoretische Grundlagen oder Umsetzungsstrategien, die die konzeptuelle Entwicklung des Artikels 27 voranbringen. Welterbe-Bildung weist weder Verbindungen zu aktuellen Bildungsprogrammen noch zu aktuellen Herausforderungen im Welterbe auf und wird deshalb über Welterbe-Fachkreise hinaus kaum anerkannt und umgesetzt (*Grünberg/Zehbe 2022*).

### **Potenziale von BNE und Welterbe-Bildung vice versa**

Das Welterbe-Komitee hat 2015 beschlossen, nachhaltige Entwicklung in alle Prozesse der Welterbekonvention zu integrieren (*UNESCO 2015*) und damit einen Rahmen für die Implementierung einer nachhaltigen Entwicklungsperspektive in Welterbe-Bildung geschaffen. Diese ist jedoch bisher nicht mit dem hauseigenen UNESCO-Bildungsprogramm »Bildung für nachhaltige Entwicklung« (BNE) zusammengeführt – und das obwohl BNE fester Bestandteil der internationalen und nationalen Bildungslandschaft ist. Es gibt kaum Schnittstellen zwischen BNE

und WHEP in der Umsetzung. In der Berlin Declaration on Education for Sustainable Development (*UNESCO 2021*) wird das Welterbe nicht erwähnt und fehlt auch in BNE-Bildungsmaterialien, wie dem Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen von BNE (*KMK&BMZ 2016*). Ebenso sind das Konzept und der Ansatz von BNE nicht in Welterbe-Bildungsmaterialien, wie dem »Educational Ressource Kit for Teachers«, verankert.

Im Kontext der drei im Bereich BNE wichtigen Themenfelder Nachhaltigkeit, Handlungskompetenz und Globales Lernen, sind die Potenziale der Welterbe-Bildung wie folgt:

**Nachhaltigkeit:** Die Welterbekonvention hat als Ziel den nachhaltigen Schutz und die nachhaltige Nutzung von Kultur- und Naturerbe, um dieses langfristig für kommende Generationen zu bewahren. Allerdings wird das Thema Nachhaltigkeit im Bildungskontext an Welterbestätten bisher selten thematisiert. Im Rahmen von BNE bieten sich hier Möglichkeiten, Instrumente eines nachhaltigen Erhalts kennenzulernen – von nachhaltigem Tourismus, über technische Schutzmaßnahmen und lokale Handwerkstechniken bis hin zu der Einbindung der lokalen Gemeinschaften in Schutzmaßnahmen.

Welterbestätten sind darüber hinaus Motor für nachhaltige Entwicklung und leisten einen wichtigen Beitrag zur Agenda 2030 (*Schorlemer et al. 2020*). Die Welterbeliste bietet zahlreiche Beispiele dafür, zu welchen Nachhaltigkeitszielen Welterbestätten ganz konkret beitragen können: die grenzüber-

schreitenden Buchenwälder (Bulgarien/Kroatien/Tschechien/Deutschland/Frankreich und Weitere) als Kohlenstoffspeicher und Waldgebiete mit hoher Artenvielfalt zum Nachhaltigkeitsziel 15 »Leben an Land«, die Reisterrassen auf den Philippinen zum Nachhaltigkeitsziel 2 »Kein Hunger« oder die Dyiabakir-Festung und Hevsel-Garten- und Kulturlandschaft in der Türkei mit ihren traditionellen Wassernutzungssystemen zum Ziel 6 »Sauberes Wasser«. Diese Verbindungen sind zwar wissenschaftlich belegt, jedoch kaum für Bildungsprozesse aufbereitet. In der Verbindung von Welterbe-Bildung mit BNE liegt die Chance, das Bewusstsein für die Rolle von Natur- und besonders auch Kulturerbe für die erfolgreiche Umsetzung der Agenda 2030 zu fördern.

**Handlungskompetenz:** Der Erhalt von Welterbestätten erfordert Kompetenzen für nachhaltiges Handeln, wie sie in BNE vermittelt werden. In diesem Sinne besteht das Ziel von Welterbe-Bildung im Rahmen von BNE nicht darin, Faktenwissen über Welterbestätten anzueignen oder Welterbe-Expertinnen und -Experten auszubilden. Es besteht vielmehr darin, Lernende an Welterbestätten für nachhaltiges Handeln zu sensibilisieren und die Voraussetzungen zu schaffen, damit junge Menschen in Zukunft Verantwortung für den Schutz des Welterbes übernehmen können. Globale Themen, wie der Schutz von Welterbestätten vor den Herausforderungen des Klimawandels, können an Welterbestätten mit dem Slogan »lokal handeln, global denken« in konkrete Bildungserfahrungen überführt werden. Auch das Aufzeigen von Zielkonflikten, die an Welterbestätten unter anderem

zwischen Kultur- und Naturschutz und dem Ausbau erneuerbarer Energien durch Windräder oder Solaranlagen entstehen, ist im Sinne des Bildungsprozesses sowohl für eine kritische Welterbe-Bildung als auch für BNE fruchtbar.

**Globales Lernen:** Ein Schwerpunkt von BNE ist Globales Lernen. Die Zusammenhänge zwischen dem eigenen Lebensstil und globalen Herausforderungen stehen dabei ebenso im Mittelpunkt wie das Erkennen und Umsetzen von Handlungsmöglichkeiten im eigenen Lebensumfeld. Welterbestätten sind mit ihrer lokalen Verankerung und ihrer globalen Bedeutung in genau diesem Spannungsfeld angesiedelt. Für Bildungsprozesse ergibt sich daraus die Möglichkeit, die Lernerfahrung vor Ort durch globale Ausblicke und Perspektiven zu ergänzen, die über nationale Interpretationen hinausgehen. Ganz konkret ist dies möglich, indem Verbindungen zu anderen Stätten weltweit aufgezeigt und Gemeinsamkeiten und Besonderheiten diskutiert werden. Es ist das besondere Potenzial von grenzübergreifenden Welterbestätten, diese transnationalen Perspektiven zu öffnen, Konflikte und Versöhnung zwischen Ländern anhand ihres gemeinsamen Erbes zu thematisieren und damit Grundlagen für interkulturelle Verständigung zu schaffen (Albert 2019). Dieses Potenzial wurde ganz explizit im Projekt des Institute Heritage Studies (IHS) »Europäisches grenzübergreifendes Welterbe – ein Thema für UNESCO-Schulen« aufgegriffen und umgesetzt.

### Young Climate Action for World Heritage

Die Notwendigkeit, den Bildungsauftrag der Welterbe-Konvention mit »Bildung für nachhaltige Entwicklung« (BNE) zu verbinden, erschließt sich durch die Tatsache, dass die mittlerweile größte Bedrohung für das Welterbe der Klimawandel ist (ICOMOS 2019, Osipova et al. 2020). Das hat das UNESCO-Welterbekomitee mit dem »Policy Document on Climate Action for World Heritage« (UNESCO 2021a) bekräftigt und entsprechende Strategien vorgestellt.

Genau hier setzt das DBU-Projekt »Young Climate Action for World Heritage« des Institute Heritage Studies (IHS) an, das in Kooperation mit der Deutschen UNESCO-Kommission durchgeführt wird. Es zeigt exemplarisch die Verbindung von Welterbe-Bildung und BNE auf und verknüpft es mit dem Nachhaltigkeitsziel 13.3 »Sensibilisierung für den Klimawandel«. Schülerinnen und Schüler setzen sich in interkulturellen Gruppen an sechs verschiedenen Welterbestätten mit den Fragen auseinander, was ihnen das gemeinsame Erbe bedeutet, inwiefern es durch den Klimawandel bedroht ist und wie sie vor Ort Verantwortung für den nachhaltigen Erhalt der Welterbestätten und die Bekämpfung des Klimawandels übernehmen können. Damit möchte das Projekt das Potenzial des Welterbes als Lernort im Rahmen von BNE und Klimabildung sichtbar machen und praktisch umsetzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass BNE und Welterbe-Bildung vielfältige Potenziale vice versa bieten, von denen hier nur



Interkultureller Workshop im Rahmen des Projektes »Grenzübergreifendes europäisches Welterbe – ein Thema für UNESCO-Projektschulen« (2019) an der deutsch-polnischen Welterbestätte Muskauer Park/ Park Mużakowski

einige exemplarisch aufgezeigt wurden. BNE kann aufgrund seiner breit verankerten Umsetzung in Schulen und Bildungsinstitutionen als Chance begriffen werden, mit Welterbe-Bildung ein breiteres Zielpublikum als bisher zu erreichen und das Bewusstsein für Kultur- und Naturerbe als Beitrag zur Agenda 2030 und den Nachhaltigkeitszielen zu stärken.

### Claudia Grünberg

Stellvertretende Direktorin des Institute Heritage Studies an der Internationalen Akademie Berlin gGmbH

# Projektbeispiele

## Digitalisierung

### 3D im Denkmalschutz: Rechenmodell zur Klimatisierung und denkmalverträglichen Nutzung der Schlosskapelle Celle

Die Celler Schlosskapelle ist ein Gesamtkunstwerk von europäischem Rang und bedeutendes Bauwerk der Renaissance. Ihr Inventar ist fast vollständig erhalten, darunter eine umfangreiche Gemäldesammlung mit zum Teil sehr dünnen Eichenholztafeln als Bildträger, die seit 1995 nur durch Glas betrachtet werden können. Der freie Zugang musste eingeschränkt werden, da die Aufnahmekapazität in den Jahren zuvor bei Weitem überschritten wurde: Mehr als 50 000 Besucherinnen und Besucher pro Jahr führten zu Feuchteschäden und gefährdeten den Bestand.

Ein Modellprojekt des Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege erforschte deshalb die denkmalverträgliche Nutzung und Klimatisierung der Schlosskapelle mittels bauphysikalischer 3D-Modellierung und digitaler Strömungssimulation. Ziel war, die Beseitigung und Vermeidung anthropogener Umweltschäden infolge von zu häufigen und zu starken Klimaschwankungen sowie die Zugänglichkeit für die Öffentlichkeit wiederherzustellen.



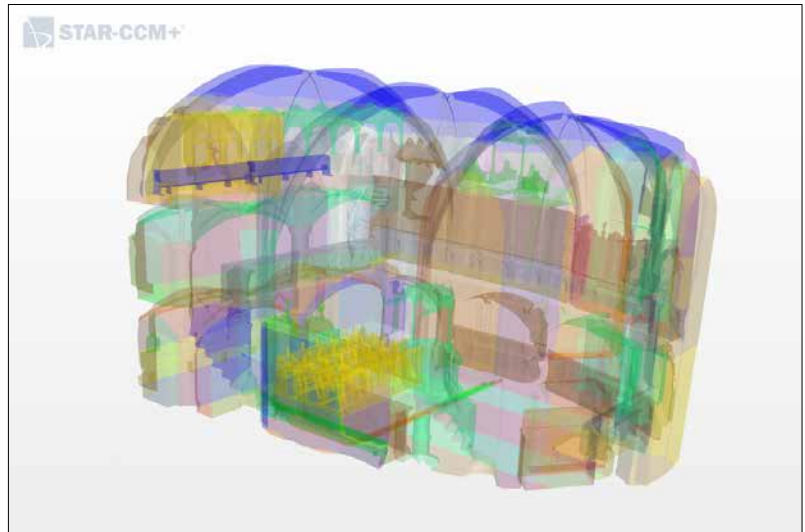
Innenansicht der Kapelle

Für die besonders gefährdeten Holztafel- und Leinwandgemälde galt es, das konservatorische Optimum zu bestimmen, um zu trockene und zu feuchte Raumklimabedingungen ausschließen zu können. Zu diesem Zweck wurde anhand von bauphysikalischen Voruntersuchungen für die Schlosskapelle eine Anlage entwickelt und realisiert, die zur automatischen Be- und Entlüftung sowie zur Entfeuchtung dient.

Zur Programmierung und zur Prüfung ihrer Wirksamkeit wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, insbesondere Klimamessungen im Innenraum und Zustandskontrollen ausgewählter Referenzobjekte und -flächen. In allen Projektphasen erfolgte ein restauratorisches und mikrobiologisches Monitoring. In einem innovativen Projektansatz wurde zudem ein bauphysikalisches 3D-Rechenmodell der Schlosskapelle erstellt, das Strömungssimulationen wie auch virtuelle Nutzungserprobungen ermöglichte. Ein Vergleich der berechneten Daten mit den realen Messwerten nach dem Einbau konnte die Wirksamkeit und Notwendigkeit der Anlage sowie die Praxistauglichkeit des 3D-Rechenmodells bestätigen.

Die denkmalverträgliche Nutzung der Schlosskapelle wurde mit unterschiedlichen Formaten erprobt. Das konservatorisch bevorzugte Format stellte die »geführte Gruppe« dar, die in ihrer Personenzahl und Zeitangabe die bauphysikalisch definierten Grenzwerte deutlich unterschreitet, um eine erneute anthropogene Substanzgefährdung mit Sicherheit auszuschließen.

Mit den Ergebnissen des Modellprojektes und der Inbetriebnahme der Anlage zur Raumluftkonditionierung wurden wichtige Voraussetzungen geschaffen, das Gesamtkunstwerk der Schlosskapelle Celle auf Dauer zu erhalten und denkmalverträglich zu nutzen. In das Konzept der zukünftigen Nutzung ist der Besuch einer multimediale Ausstellung integriert, die in räumlicher Nähe zur Kapelle mit 3D-Technik über ihre



Das aus 5,8 Millionen Volumenzellen bestehende bauphysikalische 3D-Rechenmodell der Celler Schlosskapelle

kulturgeschichtliche Bedeutung und über die Projektergebnisse informieren wird.

**Projektträger:**

Niedersächsisches Landesamt für  
Denkmalpflege  
Prof. Dr. Erwin Stadlbauer  
Scharnhorststr. 1  
30175 Hannover  
[www.denkmalpflege.niedersachsen.de](http://www.denkmalpflege.niedersachsen.de)

**DBU-Projektseite:**

[www.dbu.de/projekt\\_33881/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_33881/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** 2017–2020

**Fördersumme:** 124 628 Euro

## Mit Laser und Plasma Kulturgüter von Schadstoffen befreien



Mikroskop Hylotox-Objekt

In der Nachkriegszeit wurden bis in die 1980er Jahre DDT, Lindan und weitere langlebige chlorierte Insektizide in Holzschutzmitteln eingesetzt. Behandelt wurden damit auch viele Möbel. Während diese mit entsprechenden Verfahren entsorgt werden können, wird bei wertvollen Kulturgütern nach Verfahren gesucht, mit denen diese von den Schadstoffen befreit werden können. Ziel ist es dabei, die gesundheitsschädlichen Holzschutzmittel weitgehend zu entfernen, aber

gleichzeitig das Kulturgut möglichst unbeschädigt zu erhalten.

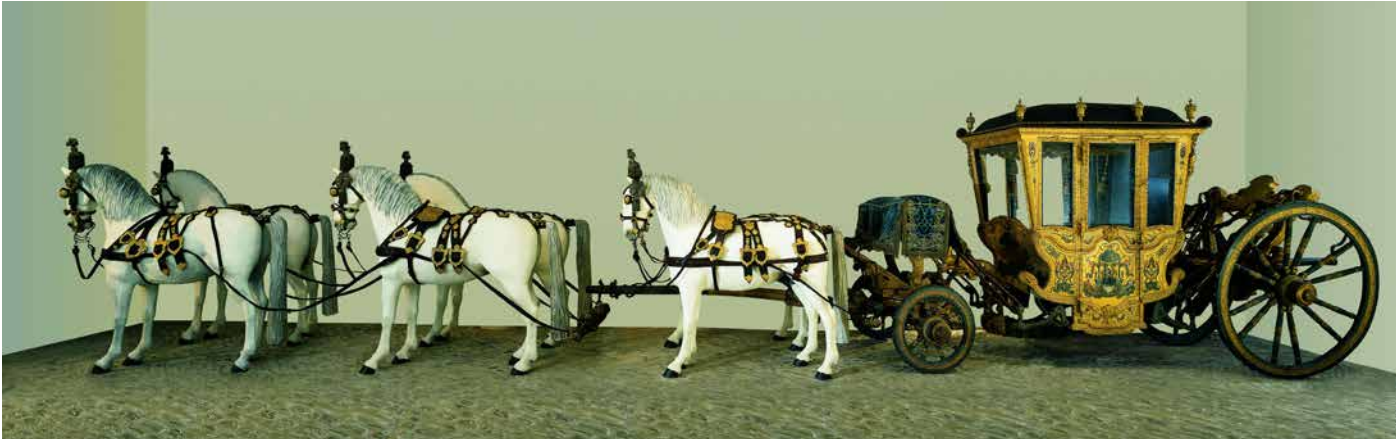
Dieser Herausforderung nahm sich ein Projekt des INNOVENT e. V. aus Jena in Thüringen an. Zusammen mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, wurden hier digitale Möglichkeiten zum Biozidabbau untersucht.

In der Vergangenheit wurden bereits unterschiedliche Verfahren zur Dekontamination von belasteten Kunst- und Kulturgütern erprobt. Dies waren beispielsweise die Trockenreinigung, die Vakuumwaschverfahren oder die Lösemittelextraktionen. Doch alle Verfahren wiesen zum Teil schwerwiegende Nachteile auf, weshalb sich bisher noch kein Verfahren zur Dekontamination etablieren konnte.

### Plasma- oder Lasertechnologie

In diesem Projekt erfolgte die Dekontamination erstmalig durch Laserreinigung mit extrem kurzen Laserpulsen und mittels Atmosphärendruckplasma. Zunächst wurden die Verfahren an kontaminierten Probenkörpern erprobt und optimale Behandlungsparameter erforscht. Untersucht wurden verschiedene Plasma- und Lasersysteme sowie die Rasterung und die Vorschubgeschwindigkeit, mit der die Behandlung erfolgt.

Die kurzzeitige hohe Energie des Plasmas und der Laserimpulse zerstört beziehungsweise verdampft die Schadstoffe, erhöht aber



Goldene Kutsche

gleichzeitig die Temperatur der behandelten Objekte nur so geringfügig, dass keine Schäden daran entstehen. Mit beiden untersuchten Verfahren konnten Abbauraten der Schadstoffe von bis zu 75 Prozent erzielt werden. Die Schadstoffkristalle an den Oberflächen konnten sogar vollständig entfernt werden.

### **Die barocke »Goldene Kutsche«**

Erprobt wurde das neue Verfahren am Beispiel der »Goldenen Kutsche« aus dem Schlossmuseum Sondershausen. Sie wurde um 1710 in Paris gebaut und diente den Schwarzburg-Sondershäuser Fürsten als Staatswagen. Sie ist eine der letzten vier weltweit heute noch existierenden Wagen und stellt als barockes Gesamtkunstwerk ein bedeutendes Zeugnis höchster kunsthandwerklicher Fähigkeiten des frühen 18. Jahrhunderts dar.

Die vergoldete und bemalte Holzkarosse wurde in den 1970/80er Jahren mit Holzschutzmitteln behandelt. Eingesetzt wurde

Hylotox 59, das in der DDR bis 1988 zugelassen war. Es enthielt sowohl DDT als auch Lindan. Diese Giftstoffe bildeten auf der Oberfläche der Kutsche kristalline Strukturen und wurden an die Umgebung abgegeben. Eine Abreicherung der Belastung konnte mittels Atmosphärendruckplasma sowie Kurz- und Ultrakurzpulslaser erfolgreich durchgeführt werden.

### **Projektdurchführung:**

INNOVENT Technologieentwicklung e. V.  
Prüssingstr. 27 b  
07745 Jena  
[www.innovent-jena.de](http://www.innovent-jena.de)

### **DBU-Projektseite:**

[www.dbu.de/projekt\\_32593/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_32593/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** Mai 2015–März 2017

**Fördersumme:** 119 602 Euro

## »You´ve got Mail«: Wie künstliche Intelligenz per E-Mail bei Schimmelbildung warnt



Schadensmerkmale wie Schimmel aus dem Xantener Dom

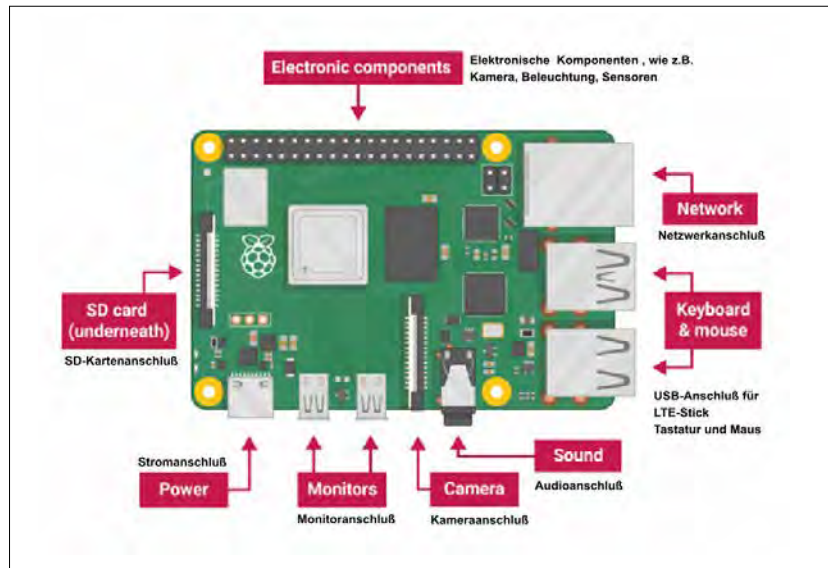
Die Entstehung und Ausbreitung von Schimmel durch anthropogene Umwelteinflüsse bedrohen zunehmend die Innenausstattung von Kirchen und andere wertvolle Kulturgüter. Schimmelbildung frühzeitig zu erkennen, ist deshalb ein wichtiger Faktor zur Vermeidung von irreversiblen Schäden. Aus diesem Grund befasste sich Hajurveda Heritage mit der Entwicklung eines Frühwarnsystems zur Schimmelerkennung, das auf Algorithmen aus der künstlichen Intelligenz (KI) basiert. Es wurde ein Prototyp einer Systemplattform entwickelt, die den Anwender automatisch und in Echtzeit über Schimmelbildung informiert. Das übergeordnete Projektziel bestand darin, eine Plattform zu schaffen, deren Ergebnisse ohne Expertenwissen zu verstehen sind und die mit minimalem Aufwand zu installieren ist.

Wichtigster Bestandteil der Systemplattform ist das Echtzeit-Controllersystem, das sich vor Ort in der Kirche befindet. Es steuert eine digitale Kamera an, schaltet die Beleuchtung für die Zeit der Aufnahme ein, erfasst Thermodaten im Nahfeld des Objektes und schickt diese Informationen über eine Mobilfunkleitung an den Cloud-Server. Hier wird mit einem innovativen Ansatz, basierend auf Algorithmen aus der künstlichen Intelligenz (KI), eine Schimmelanalyse für jedes Bild durchgeführt. Die Aufgabe der Algorithmen teilt sich in folgende Schritte: Erstellen der Datenbank für die Speicherung und Verwaltung der Fotos und Thermodaten,

Zerschneiden der Fotos in kleinere Segmente, Sortieren der zerschnittenen Fotos in Merkmalklassen, Training der neuronalen Netze, Programmieren eines Vorhersagealgorithmus für die automatische Auswertung der Schimmelkamera-Fotos, automatische Auswertung der Fotos und Warnung des Benutzers bei Schimmel.

Die modellhafte Erprobung des Prototypensystems erfolgte im Laufe des Projektes in der Xantener Dombauhütte, im St-Paulus-Dom in Münster und im Kölner Dom. Es wurden 4 000 Fotos von Schimmel und/oder Staub gemacht, die insgesamt 350 000 geschnittene Bilder für das Training der neuronalen Netze bereitstellten. Das programmierte neuronale Netz erkennt Schimmel bereits ab einer Größe von 1 mm Durchmesser mit einer Wahrscheinlichkeit von 97 Prozent oder besser und warnt den Anwender automatisch und in Echtzeit über dieses Risiko per E-Mail. Auch das Schimmelwachstum lässt sich mit diesen Algorithmen quantitativ darstellen. Gleichzeitig ermöglichen die erfassten Daten zur Temperatur und relativer Luftfeuchte in der Nähe des zu überwachenden Objektes, eine Dokumentation der Umweltbedingungen, die zur Schimmelerntstehung geführt haben.

Die von Hajuvada Heritage entwickelten Methoden aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz und ihrer Anwendung zur präventiven Schadenserkenkung durch Schimmelbildung stellen einen innovativen, neuartigen Ansatz dar. Durch systematische Auswertung der Datenbanken können in Zukunft Risiken für unwiderrufliche Schäden an historisch wertvollen Kunstgegenständen reduziert werden.



Raspberry PI 4 Funktionsschaltbild (2020)

Dabei beschränkt sich die Anwendbarkeit des Systems nicht auf Kirchen, sondern ist allgemein für das Bauwesen geeignet.

#### Projektträger:

Hajuveda Heritage  
Ruitzhof 26  
52156 Monschau  
[www.hajuveda.solutions/index.htm](http://www.hajuveda.solutions/index.htm)

#### DBU-Projektseite:

[www.dbu.de/projekt\\_35604/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_35604/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** 2019–2021

**Fördersumme:** 124 933 Euro

# Klimakrise

## Historische Gärten in Zeiten der Klimakrise – Empfehlungen zur Bewahrung



Fachgespräch im Park Sanssouci

Historische Gärten sind Gesamtkunstwerke, in denen Natur, Kunst und Architektur in einem Einklang gestaltet und erlebbar sind. Der Klimawandel und die damit einhergehende Zunahme von Wetterextremen wie Trockenheit, Stürme und Regenstürze treffen diese Kulturgüter jedoch weitgehend ungeschützt. Auch die über 200 Jahre alten Vegetations-

bestände der Welterbegärten und Parks der Potsdam-Berliner Kulturlandschaft leiden zunehmend unter dem Klimastress.

Entsprechend bestand das Projektziel der Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg (SPSG) darin, eine breite Diskussion über die Auswirkungen des Klimawandels auf historische Gärten und Kulturlandschaften zu befördern und konkrete Handlungsanweisungen zu entwickeln. Mit einer internationalen Fachtagung sowie der Publikation eines Fachbuches wurde ein Status quo zusammengetragen, der die Auswirkungen des klimatischen Wandels auf historische Gärten im nationalen und internationalen Vergleich zeigt. Im Fokus standen zudem Bewahrungsstrategien für Gärten und Kulturlandschaften mit ihren gestalteten Wassersystemen und die Möglichkeiten von Anpassungsleistungen des historischen Pflanzenbestandes an die neuen Bedingungen.

### Durchführung einer internationalen Fachtagung

Zunächst wurden in zwei internen, interdisziplinären Expertenkolloquien die Auswirkungen des klimatischen Wandels auf historische Gärten beleuchtet und Lösungsstrategien diskutiert. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend fand in Potsdam die internationale Fachtagung »Historische Gärten im Klimawandel« statt.

Dort wurden Fakten und Prognosen zum Klimawandel präsentiert und die Auswirkungen des Klimawandels diskutiert. Daraus ergaben sich konkrete Handlungsempfehlungen für die Bewahrung von historischen Gärten und Parkanlagen. Zu den wichtigsten zählen die Entwicklung eines Wassermanagement-Plans zur Bewässerung, die Anwendung und weitere Erforschung historischer gärtnerischer Pflanz- und Pflegetechniken sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz von Pflanzen im historischen Bestand.

#### **Die »Erklärung von Sanssouci« – Impuls für ein internationales Netzwerk**

Im Rahmen der internationalen Fachtagung wurde 2014 die »Erklärung von Sanssouci zum Erhalt von historischen Gärten und Kulturlandschaften« verabschiedet. Sie stellt in zehn Punkten die Bedeutung dieser Anlagen sowie die Notwendigkeit der Bereitstellung von Mitteln und Forschungen zu ihrem Erhalt heraus. Die durch den Klimawandel bedingten Gefährdungen für historische Gärten, Bauwerke und Kulturlandschaften müssen erkannt, beschrieben und erforscht werden. Ein wichtiges Ziel der Unterzeichnenden ist die Etablierung eines internationalen Netzwerkes, in dem Kultur- und Forschungseinrichtungen, Zivilgesellschaft und Politik ihre Erkenntnisse und Erfahrungen übergreifend bündeln, um gemeinsam Strategien zur Erhaltung des kulturellen natürlichen Erbes fortzuentwickeln.

#### **Handbuch mit Empfehlungen zur Bewahrung**

Begleitend zur Tagung erschien 2014 die Publikation mit dem Titel »Historische Gärten im Klimawandel – Empfehlungen zur Bewahrung«. Das umfangreiche Werk in Deutsch und Englisch stellt den Status quo zum Thema historische Gärten dar. Über 60 Autoren aus Deutschland und dem Ausland präsentieren nicht nur kulturgeschichtliche Aspekte zu historischen Gärten, sondern verdeutlichen die Folgen des Klimawandels. Die Einflussfaktoren Boden und Wasser, der Umgang mit Pflanzen sowie die fachgerechte Restaurierung und Pflege von historischen Gärten und Parkanlagen anhand von Modellbeispielen werden dargestellt. Der Band bietet die erste wissenschaftlich fundierte Bestandsaufnahme zu diesem Thema und ist zugleich Grundlage für weiterführende Forschungen.

#### **Projektträger:**

Stiftung Preußische Schlösser und Gärten  
Berlin-Brandenburg  
Am Grünen Gitter 7  
14469 Potsdam  
[www.spsg.de/startseite](http://www.spsg.de/startseite)

#### **DBU-Projektseite:**

[www.dbu.de/projekt\\_30304/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_30304/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** 2013–2015

**Fördersumme:** 125 000 Euro

## Der Klimawandel verändert das Raumklima – Gefahr für Kulturgüter



Detail einer mit Schimmel befallenen Oberfläche

Die Klimaveränderungen erfordern auch in der Denkmalpflege und im Erhalt unseres kulturellen Erbes ein Umdenken. Infolge der Erwärmung heizen sich die Innenräume von Denkmälern mit wertvoller historischer Ausstattung zunehmend auf. Die relative Feuchte sinkt dabei vielerorts auf kritische Werte unter 40 % ab. Dabei handelt es sich um ein neues Phänomen, denn historische Gebäude, insbesondere Kirchen, waren bislang eher zu hohen Luftfeuchten ausgesetzt.

Geringe Luftfeuchten führen zu einem hohen Schadensrisiko für zahlreiche Kunstgattungen. Leinwandgemälde, Papier- und Ledertapeten, gefasste Holzoberflächen und Wandmalereien unterliegen meist einem mehrschichtigen Aufbau aus organischen Materialien. Die unterschiedliche Ausdehnung und Schrumpfung der Schichten verursacht Spannungen im Materialverbund, sodass es zu einer irreversiblen Schädigung kommen kann.

Ziel eines Projektes der Professur für Restaurierungswissenschaft der Otto-Friedrich-Universität Bamberg ist daher die Analyse von Schadensphänomenen, die durch geringe relative Feuchte entstehen. Dabei sollen insbesondere Zeitpunkt und Dauer des kritischen Klimabereichs auf die Schäden an den Kulturgütern untersucht werden. Basierend auf den Ergebnissen sollen Handlungsempfehlungen für präventive und klimakorrigierende Maßnahmen abgeleitet werden.

Im Rahmen einer Befragung von Denkmalämtern, Schlösserverwaltungen und weiteren relevanten Einrichtungen wurde die Auswirkung des anthropogenen Klimawandels auf Kulturgüter in Deutschland ermittelt. Weiterhin wurde nach Erfahrungswerten und Handlungsstrategien gefragt.

Für die detaillierte Untersuchung der Schäden wurde das Raumklima vor Ort gemessen und die daraus entstandenen Verformungen an den historischen Oberflächen mittels

hochauflösender 3D-Scanner aufgenommen. Die Messungen erfolgten am Cranach-Altar der Schlosskirche der Augustusburg, dem Flügelretabel in der St. Nicolaikirche in Döbeln, den barocken Ledertapeten im Schloss Moritzburg sowie an den Wandmalereien in der Albrechtsburg in Meißen.

Das Ergebnis der Befragung belegt, dass bereits heute in vielen Einrichtungen in Deutschland negative Auswirkungen des Klimawandels auf den Erhalt des Kulturgutes beobachtet werden können. Mit den Vor-Ort-Messungen konnte gezeigt werden, dass selbst kurzfristige Temperatur- und Feuchteschwankungen zu Bewegungen der Oberflächen führen können. Im Hinblick auf die zunehmenden klimatischen Veränderungen ist vor allem für Kulturgüter, die aus sensiblen hygroskopischen Materialien bestehen, eine langfristig angelegte Überwachung der Umgebungsbedingungen sowie eine konservatorische Wartung und Pflege zu empfehlen.

**Projektträger:**

Otto-Friedrich-Universität Bamberg  
Professur für Restaurierungswissenschaft  
Am Zwinger 4  
96047 Bamberg  
[www.uni-bamberg.de/  
restaurierungswissenschaft/](http://www.uni-bamberg.de/restaurierungswissenschaft/)

**DBU-Projektseite:**

[www.dbu.de/projekt\\_35598/01\\_db\\_2848.  
html](http://www.dbu.de/projekt_35598/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** März 2020–Dezember 2021

**Fördersumme:** 122 332 Euro



Hochauflösender 3D-Scan des Tafelgemäldes von Lucas Cranach dem Jüngeren in der Schlosskirche von Augustusburg zum Zwecke der Bestandsdokumentation.

## Hochwasserschäden durch den Klimawandel vermeiden



Räbel – Hansestadt Werben (Elbe): feuchter Fußboden

Extreme Hochwasserereignisse sind in den letzten Jahren häufiger aufgetreten. Ursache hierfür ist insbesondere der Klimawandel, der zu mehr und kräftigeren Starkregenereignissen führt. Weiterhin kann die Verdichtung des Bodens in ehemaligen Überschwemmungsgebieten zu einem höheren Wasserstand führen.

Bei Hochwasserereignissen sind nicht nur die Gebäude und Einrichtungen, welche im direkten Überschwemmungsgebiet liegen, betroffen. Der steigende Grundwasserspiegel kann auch weiter entfernt liegende Bauten schädigen. Dies trifft auch auf viele ländlich gelegene Kirchen in Sachsen-Anhalt zu. Geschädigt werden insbesondere die Mauern

im Sockelbereich. Aber auch die Kulturgüter im Innenbereich können durch Feuchte und Schimmel Schaden nehmen.

Den Bauverantwortlichen fehlten bislang aber objektive Entscheidungskriterien, welche Methoden sich für die Verhinderung oder Beseitigung der Schäden eignen. Aus diesem Grund wurden sechs national wertvolle Kirchen untersucht und die Wasserstände ermittelt. Es wurden unterschiedliche Verfahren für ihre Eignung zum Schutz der denkmalgeschützten Gebäude vor oder zur Verringerung von Schäden nach einer Flutung untersucht und miteinander verglichen.

Die Ermittlung der Feuchte- und Salzbelastung zeigte in allen Fällen hohe Feuchtwerte in den Sockelzonen, zum Teil führte dies zur Anreicherung von Salzen und damit zu weiteren Schäden.

Die unterschiedliche Geologie wirkt sich in unterschiedlichen Prozessen auf die Bauwerke aus. Die zu treffenden Maßnahmen gegen hochwasserbedingte Grundwasserschäden müssen daher in jedem Einzelfall differenziert ermittelt werden. Hierfür sind die Grundwasserströmungsmodelle aufgrund der Messung der Wasserstände eine unerlässliche Grundlage. Die ingenieurgeologischen Untersuchungen wiesen eindeutig nach, dass es zu Untergrundveränderungen bei Hochwasser kommen kann, welche zu Bauwerksschäden (Risse) an den Kirchen führen können.

Auf der Grundlage von Musterflächen konnten Putzsysteme mit passenden Eigenschaften für die Sanierung empfohlen werden, die neben der Funktionalität auch die Ästhetik der Denkmale berücksichtigen.

Im Projekt wurden auch vorhandene Vertikalsperren untersucht. Es wurden dabei fast immer Baufehler festgestellt. Dies verdeutlicht, dass eine rein visuelle Abschätzung der Funktion und Dauerhaftigkeit nicht ausreichend ist. Entscheidend ist die Überprüfung der baulich korrekten Ausführung. Daher ist es notwendig, konkrete Untersuchungen vor Ort durchzuführen, um den Einbau der Sperren zu begutachten sowie Materialfeuchten zu analysieren.

Im Rahmen des Projekts konnten einige Baufehler identifiziert werden, die sich auf die Funktionalität der Sperren auswirken.

Das Projekt trägt maßgeblich dazu bei, dass national bedeutendes Kulturgut, insbesondere im ländlichen Raum, vor Hochwasserereignissen und deren Folgen in Zukunft besser geschützt werden kann. Besondere Bedeutung haben die neuen Erkenntnisse über die Einflussnahme von Grundwasserschwankungen auf Bauwerksschäden in Zeiten der Grundwassertiefstände während der Dürreperioden 2018–2020 erlangt. Derzeit befindet sich ein weiteres Forschungsvorhaben zur Einflussnahme auf den Wasserhaushalt zum nachhaltigen Schutz des Bauwerkes vor Trocknungsschäden in der Planung.



Sydow: abgänige Ziegelsteine durch erhöhten Grundwasserspiegel

**Projektdurchführung:**

Landeskirchamt der Evangelischen Kirche  
Mitteldeutschland (EKM)

Am Dom 2  
39104 Magdeburg

**DBU-Projektseite:**

[www.dbu.de/projekt\\_32576/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_32576/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** März 2015–Dezember 2018

**Fördersumme:** 62 000 Euro

# Bildung

## Kulturgüterschutz im Schulalltag – Baudenkmäler als spannende und anschauliche Lernobjekte



Das Projektteam und sein Untersuchungsobjekt: die Germania in Gröningen

Was sind Kulturdenkmale und worin besteht ihr Wert? Welche Bedeutung haben sie für das Erscheinungsbild unserer Städte und Regionen und in unserem Alltag? Warum sind sie erhaltenswert und wie kann man zur Bewahrung des Kulturerbes beitragen? Diesen und weiteren Fragen gehen Schülerinnen und Schüler in Projekten bei »denkmal aktiv –

Kulturerbe macht Schule« nach. Das unter der Schirmherrschaft der UNESCO stehende Schulprogramm der Deutschen Stiftung Denkmalschutz ist die einzige bundesweite Initiative, die sich für die Vermittlung von Wert und Bedeutung von Kulturdenkmälern an Schülerinnen und Schüler einsetzt. Ziel des Programmes ist, den Lernort Denkmal stärker im schulischen Alltag zu etablieren und das Thema Kulturgüterschutz im schulischen Kontext zu stärken. Die DBU unterstützt die Initiative im Rahmen ihrer Projektförderung mit innovativen Schwerpunktthemen.

### Förderschwerpunkt liegt auf energetischer Sanierung

Ziel des von der DBU-geförderten Themenfeldes »Energetische Sanierung und Denkmalschutz« war es, Schülerinnen und Schüler für die Belange des gleichnamigen Themas zu sensibilisieren. Denn im Gegensatz zu Gebäuden, die nicht unter Denkmalschutz stehen, ist die energetische Sanierung von denkmalgeschützten Bauten eine deutlich höhere Herausforderung. Um das volle Potenzial zur Energieeinsparung zu erlangen, sind entsprechendes Fachwissen sowohl bezüglich der Möglichkeiten der Energieeinsparung als auch im Umgang mit historischer Gebäudesubstanz unerlässlich. Bei undifferenzierter energetischer Sanierung besteht die Gefahr von Bauschäden, aber auch der Überformung

historischer Besonderheiten und damit einhergehend der Verlust von Eigenart und Identität. Um dieses Spannungsfeld zwischen Klimaschutz und Denkmalschutz zu kommunizieren, waren Schulen aufgerufen, sich im Rahmen von »denkmal aktiv«-Projekten mit dieser Fragestellung zu beschäftigen.

Insgesamt haben Schulen aus 10 Bundesländern Projekte im Themenfeld »Energetische Sanierung und Denkmalschutz« umgesetzt, die aus Groß- und Kleinstädten sowie dem ländlichen Raum stammten und einen breiten Bereich an Schulformen abdeckten. Ebenso vielfältig war die Bandbreite der in den Projekten betrachteten Denkmale. Es wurden Wohngebäude aus verschiedenen Bauzeiten sowie Kirchen und auch Industriegebäude behandelt. Für den Erfahrungsaustausch fanden in jedem Schuljahr Treffen der Lehrkräfte und Schüler statt. Dank der insgesamt 30 geförderten Projekte konnten den Schülerinnen und Schülern die besonderen Anforderungen der energetischen Sanierung von historischer Gebäudesubstanz erfolgreich vermittelt werden.

### **Schüler erkunden Denkmäler**

Das zweite Vorhaben »Lernen am Denkmal. Schädliche Umwelteinflüsse auf das Kulturerbe anschaulich im Unterricht vermitteln« greift das Engagement der DBU zur Förderung von Schülerlaboren als Orte für die Nachhaltigkeitsbildung auf und erprobt erstmalig ihre Einbindung in das Schulprogramm »denkmal aktiv«. Projektziel ist, Denkmalschutz und Umweltentlastung als Thema aufzubereiten und in das Portfolio der Schülerlabore aufzunehmen.

An den außerschulischen Lernorten forschen Schülerinnen und Schülern nicht nur praxisorientiert und handlungsbezogen. Sie lernen, welche Umwelteinflüsse historische Bauten gefährden und bekommen Möglichkeiten aufgezeigt, diese zu analysieren und zu messen. Auch können sie die Auswirkungen des eigenen Handelns in Bezug auf die Bewahrung des kulturellen Erbes vor schädlichen Umwelteinflüssen diskutieren.

Begleitet werden die Vorhaben von den Schülerlaboren der Universitäten Bochum und Göttingen. In einer zweiten Phase kommen weitere Schülerlabore in Aachen, Dresden, Frankfurt/Main München, Koblenz, Konstanz und St. Ingbert hinzu. Das Projekt will schädliche Umwelteinflüsse auf das Kulturerbe anschaulich, experimentell und handlungsbezogen vermitteln.

### **Projektträger:**

Deutsche Stiftung Denkmalschutz  
Schlegelstr. 1  
53113 Bonn  
**[www.denkmalschutz.de](http://www.denkmalschutz.de)** und  
**[www.denkmal-aktiv.de](http://www.denkmal-aktiv.de)**

### **DBU-Projektseiten:**

**[www.dbu.de/projekt\\_29818/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_29818/01_db_2848.html)**  
und  
**[www.dbu.de/projekt\\_35525/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_35525/01_db_2848.html)**

**Förderzeitraum:** 2013–2017 und 2020–2023

**Fördersummen:** 108 640 Euro und  
81 200 Euro



Samtgemeinde Sögel, Hüvener Mühle, erste Hälfte des 16. Jahrhunderts erbaut, seit 1850/51 Wasser- und Windmühle

## Weiterbildung für Denkmalpflege und Nachhaltigkeit

An den Erhalt und die Sanierung von Denkmälern werden zunehmend komplexe Anforderungen gestellt. Neben dem Kulturgutschutz sind insbesondere Anforderungen an Ressourcenschonung, Techniken und Baustoffe, Energie und Lebenszyklen zu beachten. Dadurch ergeben sich zusätzliche Ansprüche an Architektinnen und Architekten, das Handwerk, Bau- und Planungsämter, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie kommunale Denkmalschutzbehörden. Die wachsenden Herausforderungen im Bauen im Bestand erfordern dementsprechend einen Ausbau von qualifizierten Weiterbildungsformaten.

Das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege (NLD) erarbeitet daher im Projekt »Import/Export – Denkmalpflege und Nachhaltigkeit in der Weiterbildung« Angebote, die diese Themenfelder adressieren.

### Historische Techniken und Baustoffe

Vor dem Hintergrund der aktuellen Klimadebatten und der Forderungen nach ressourcenschonendem Bauen kann die Baubranche von Beispielen aus der Denkmalpflege lernen. Kenntnisse und Methoden der Denkmalpflege zum Umgang mit Bestehendem, Konzepte von Dauerhaftigkeit, Reparaturfähigkeit und Weiternutzung, Verwendung regionaler Baumaterialien und Bauweisen sind für einen ressourcenschonenden Umgang mit dem Baubestand von herausragender Bedeutung.

### Bauwerkserhaltung und Energiebilanz

Lange galt die Optimierung der Energieeffizienz innerhalb des Gebäudes als alleiniger Schlüssel für CO<sub>2</sub>-sparendes Bauen. Doch in der ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Gebäuden liegt ein großes Potenzial für die Nachhaltigkeit, das bisher kaum genutzt wird. So wird zum Beispiel die in den Bauteilen gebundene Energie, die sogenannte »Graue Energie«, bei der Bilanzierung von Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit oft nicht angemessen berücksichtigt.

Die meisten Denkmale sind gute Beispiele für Nachhaltigkeit, weil sie aufgrund ihrer Bauweisen lange Nutzungszyklen nachweisen können und auf Dauerhaftigkeit angelegt sind. Es wird aber auch diskutiert, wie denkmalgeschützte Gebäude klimaneutral werden können.

### Denkmalpflege und Stoffkreisläufe

Es erfordert eine übergreifende Perspektive auf das jeweilige Objekt und seinen größeren Kontext, um Stoffkreisläufe vorausschauend in Planung und Entwurf zu berücksichtigen. Anders als beim Neubau müssen Stoffkreisläufe beim Bauen im Bestand in der Ausgangslage sozusagen rückwirkend bilanziert werden. Aus der Denkmalforschung stehen Analysen über die Dynamik des Baubestands in Deutschland ansatzweise zur Verfügung.

Geschützte Kulturdenkmale, deren Potenziale oft erst noch herausgearbeitet werden müssen und die behutsam an neue Anforderungen angepasst werden, könnten darüber hinaus Identifikationspunkte und Leitkultur für eine ressourcenschonende Entwicklung ganzer Quartiere sein.

### Weiterbildungsangebote

In dem laufenden Projekt werden die Weiterbildungsangebote in Pilotveranstaltungen entwickelt und erprobt. Ziel ist es, die fertigen Maßnahmen und Lernmaterialien in Niedersachsen und darüber hinaus anzubieten.

Sie richten sich an alle Akteure aus dem Bereich der Denkmalpflege und an Fachleute des Baugewerbes insgesamt. Um dieses breite Zielgruppenspektrum spezifisch ansprechen zu können, verfolgen die Veranstaltungen ein interdisziplinäres Konzept und bieten neben fachlichen Vorträgen Raum für einen gemeinsamen Austausch.



Rathaus in Wilhelmshaven, Detailaufnahme

### Projektträger:

Niedersächsisches Landesamt für  
Denkmalpflege  
Scharnhorststr. 1  
30175 Hannover  
[www.denkmalpflege.niedersachsen.de](http://www.denkmalpflege.niedersachsen.de)

### DBU-Projektseite:

[www.dbu.de/projekt\\_37275/01\\_db\\_2848.html](http://www.dbu.de/projekt_37275/01_db_2848.html)

**Förderzeitraum:** März 2021–Juni 2022

**Fördersumme:** 72 600 Euro

## Literatur

- Albert, M.-T.** (2019): Transboundary European World Heritage – a Topic for UNESCO Associated Schools. Keynote of the final Conference of the ECHY project in 2019, Berlin 19th December.
- Dornbusch, R. & Hansell, F. & Manz, K. (Eds.)** (2018): Welterbe vermitteln – ein UNESCO-Auftrag. Serie: Industrie Archäologie. (Vol. 19). Sächsisches Industriemuseum/ IWTG TU Bergakademie Freiberg. [tu-freiberg.de/sites/default/files/media/technikgeschichte-und-industrie-archaeologie-3412/Sonstiges/welterbe\\_vermitteln\\_ein\\_unesco-auftrag\\_ia\\_vol\\_19\\_k\\_2018.pdf](https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/technikgeschichte-und-industrie-archaeologie-3412/Sonstiges/welterbe_vermitteln_ein_unesco-auftrag_ia_vol_19_k_2018.pdf)
- Grünberg, C. & Zehbe, K.** (2022): World Heritage Education and the Next 50 Years of the Convention: Current Pitfalls and Future Potentials of World Heritage Education. In Albert, M.-T. et al. (Eds.) 50 Years World Heritage Convention. Shared Responsibility – Conflict & Reconciliation. Springer.
- ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group** (2019): The Future of Our Pasts: Engaging cultural heritage in climate action. ICOMOS.
- Kultusministerkonferenz & Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit** (2016): Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Engagement Global gGmbH.
- Osipova, E., Emslie-Smith, M., Osti, M., Murai, M., Åberg, U. & Shadie, P.** (2020): IUCN World Heritage Outlook 3. IUCN.
- Schorlemer, S., Maus, S. & Schmerer, F. (Eds.)** (2020): UNESCO World Heritage and the SDGs – Interdisciplinary Perspectives. Series: Papers of the UNESCO Chair in International Relations. Special Issue 1.
- UNESCO** (2002): World Heritage in Young Hands. To Know, Cherish and Act. An Educational Resource Kit for Teachers. UNESCO. [whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-54-19.pdf](https://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-54-19.pdf)
- UNESCO, ICCROM, ICOMOS, & IUCN** (2013): Managing Cultural World Heritage Resource Manual. UNESCO.
- UNESCO** (2015): Policy on the Integration of a Sustainable Development Perspective into the Processes of the World Heritage Convention. [whc.unesco.org/en/sustainabledevelopment/](https://whc.unesco.org/en/sustainabledevelopment/)
- UNESCO** (2019): Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. UNESCO. [whc.unesco.org/en/guidelines/](https://whc.unesco.org/en/guidelines/)
- UNESCO** (2021): Berlin Declaration on Education for Sustainable Development. UNESCO. [www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-deutschland/unesco-welterbe-deutschland](https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-deutschland/unesco-welterbe-deutschland)
- UNESCO** (2021a): Policy Document on Climate Action for World Heritage. UNESCO. [whc.unesco.org/document/190260](https://whc.unesco.org/document/190260)



# Impressum

## Herausgeber:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück  
www.dbu.de

## Projektleitung:

Constanze Fuhrmann  
Leitung Referat Umwelt und Kulturgüter-  
schutz der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

## Text und Redaktion:

Constanze Fuhrmann  
Prof. Dr. Markus Große Ophoff  
Carolin Könning

## Gestaltung:

Helga Kuhn/Birgit Stefan

## Verantwortlich:

Prof. Dr. Markus Große Ophoff

## Bildnachweis:

Titel, S. 4, 6     Stiftung Preußische  
Schlösser und Gärten  
Berlin-Brandenburg  
S. 7     DWR  
S. 8     ArTo – Fotolia.com  
S. 9     Christian – stock.adobe.com  
S. 10, 12, 19     Paul Bellendorf/Universität  
Bamberg  
S. 11     Fotostudio Neukölln, Gunnar  
Bernskötter  
S. 14     Saskia Cramm, Dezernat  
Kommunikation  
S. 15, 16     IWB, Universität Stuttgart,  
Zaher Ramadan 2019

S. 17, 18     Benjamin Herges/Universität  
Bamberg  
S. 20     CCICH 2019  
S. 21     Ruth Knight, via Climate Visual  
Project  
S. 23     Michael Rohde  
S. 25     Fraunhofer  
S. 27     Constanze Fuhrmann/DBU  
S. 28     Claudia Grünberg (privat)  
S. 31     Institute Heritage Studies  
S. 32     Ulrich Loeper, Celle 2009  
S. 34     INNOVENT  
S. 35     Schlossmuseum  
Sondershausen  
S. 36, 37     iXtronics-Hajuveda  
S. 40     NLD, Christina Achhammer  
2018  
S. 41     Kristina Holl/Universität  
Bamberg  
S. 42, 43     Fotoarchiv Baureferat  
Landeskirchenamt der EKM  
S. 44     C. Friedrich, Gröningen  
S. 46     H. Mahramzadeh  
S. 47     NLD  
alle anderen DBU-Archiv

## Druck:

J. F. Niemeyer GmbH & Co. KG, Ostercappeln

## Stand:

2022

Gedruckt auf 100 Prozent Recyclingpapier



**Wir fördern Innovationen**

Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
Postfach 1705, 49007 Osnabrück  
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück  
Telefon: 0541 | 9633-0  
Telefax: 0541 | 9633-190  
[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

