



Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und Resilienz erhöhen

SCHLUSSBERICHT

II Eingehende Darstellung

Förderkennzeichen: 13N15443 bis 13N15445

Laufzeit: 01.12.2020 - 30.11.2023

Verbundkoordinator: Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.

Verbundpartner: Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, Climate Service Center
Germany

Stiftung Preussische Schlösser und Gärten Berlin-
Brandenburg

KERES – Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und Resilienz erhöhen

SCHLUSSBERICHT - II Eingehende Darstellung

Inhalt

1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung	3
2. Projektablauf	5
2.1 Kritikalität schützenswerter Kulturgüter	5
2.2 Vermeidung von akuten Schadenslagen	7
2.3 Bewältigung von akuten Schadenslagen	13
2.4 Einbindung der Akteure	15
2.5 Verbreitung und Verwertung	18
3. Wesentliche Ergebnisse und Ausblick	21
3.1 Zukünftige Projektionen zur regionalen Relevanz von Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen (AP1/Hereon-GERICS)	21
3.2 Maßnahmenkatalog zum Schutz und zur Anpassung regionaltypischer Bauweisen und Gebäudetypen aus den Fallstudien (AP1+2/IBP)	22
3.3 Maßnahmenkatalog zum Schutz und zur Anpassung historischer Gärten und Parkanlagen aus den Fallstudien (AP1+2/SPSG)	23
3.4 Fachwerkfassadenschutzsystem (AP1+2/IBP)	24
3.5 Risikokarten für Fallstudien aus hygrothermischer Gebäudesimulation und Stadtklimasimulation (AP1+2/IBP)	24
3.6 KERES-Ontologie und Wissensplattform (AP3/IOSB)	25
3.7 WALKER – Software zur Erstellung von Laufkarten für die Evakuierung von Kulturgütern in Krisenszenarien (AP3/IOSB)	28
3.8 RESKUE – Mobile Anwendung zur Koordinierung von Freiwilligenhelfern (AP3/IOSB)	29
3.9 Deutschlandweites Expertengremium (AP4/IMW, ISC)	30
3.10 Climate Fact Sheets und Klimasteckbriefe der Fallstudien (AP5/Hereon-GERICS, IBP)	31
3.11 Zukunftswerkstatt (AP5/alle)	32
4. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und Projekten	33
4.1 Zusammenarbeit mit Hochschulen	33
4.2 Zusammenarbeit mit Projekten	33
5. Veröffentlichungen und studentische Abschlussarbeiten	35
5.1 KERES-Broschüre	35
5.2 Artikel in Fachzeitschriften	35
5.3 Studentische Abschlussarbeiten	36
Anhang 1: Vorträge über KERES auf externen Veranstaltungen	37
Anhang 2: Artikel über KERES von externen Autor:innen	39
Anhang 3: Liste der KERES-Fallstudien und der Mitglieder des KERES-Expertengremiums	41
Anhang 4: Programm des öffentlichen Workshops vom 28.10.2021	45
Anhang 5: Programm der Abschlusskonferenz vom 05.-06.10.2023	48

1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Erstmals in der Geschichte der Münchner Sicherheitskonferenz wurde am 16. Februar 2019 der Klimawandel mit einer eigenen Session “Climate Change and Security: Too hot to handle?” behandelt. Damit wurde evident, dass der Klimawandel und die damit zusammenhängenden Extremwetterereignisse ein Sicherheitsthema darstellen. Auch die Vereinten Nationen haben sich am 23. September 2019 in einer großen Veranstaltung, dem Climate Action Summit mit dem Thema “A Race we can win” den Folgen des Klimawandels gewidmet. Dass die Auswirkungen von Extremwetterereignissen auch unsere Kulturgüter betreffen, hat in New York die griechische Regierung eingebracht. Daneben haben sich am 26. Mai 2020 der Rat der Europäischen Union (Council conclusions on the risk management in the area of cultural heritage), die UNESCO (International Expert Workshop on Climate Change and World Heritage, Insel Vilm 2017), ICOMOS (Climate Change and Heritage WG – Zero Draft 2018) und der Europarat (CM/Rec (2018) 3) intensiv mit dem Thema Klimawandel und Kulturgüterschutz sowie mit der Dringlichkeit zu handeln befasst und Empfehlungen ausgesprochen.

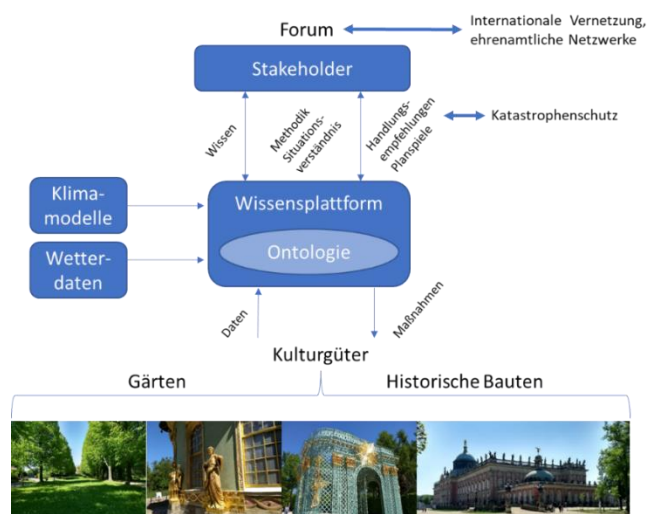
Auch in Deutschland hat die **Zunahme der Extremwetterereignisse, wie länger anhaltende Hitzeperioden gepaart mit extremer Trockenheit, orkanartige Stürme, sintflutartige Regenfälle, Zunahme der Temperaturschwankungen und Meeresspiegelanstieg**, große Auswirkungen. Im Rahmen des Projektes KERES lag der Schwerpunkt auf historischen Gebäuden und Monumenten sowie auf den von Menschen gestalteten historischen Gärten und Landschaften mit ihren einzigartigen Sammlungen von Nutz- und Zierpflanzen. Häufig stehen zudem Gebäude und Monumente in sogenannten Kulturlandschaften und sind dann stets als Ensemble zu betrachten. Während sich die Kulturerbeinstitutionen und -politik in Ländern wie Großbritannien, USA, Kanada, Griechenland, Schweden, Norwegen, Schottland oder Albanien intensiv mit den Auswirkungen von Extremwetterereignissen befassen, gibt es in Deutschland so gut wie keine Forschung und belastbaren Daten zu den quantitativen Auswirkungen von zukünftigen Extremwetterereignissen auf die Erhaltung unserer Kulturgüter und dazu, welche Sicherheitsrisiken sich daraus für die Resilienz ergeben. Auch in Deutschlands nationaler Anpassungsstrategie Klimawandel wurden Kulturgüter aufgrund fehlender belastbarer Daten nicht erwähnt. Deshalb braucht es im Kulturgüterschutz umfassende Informationen und detaillierte Kenntnisse über den globalen und regionalen Klimawandel, um Bedrohungsszenarien und Handlungsanleitungen für die Adaptation und den Schutz vor zunehmenden Extremwetterereignissen entwickeln zu können. Dies ist für Deutschland von großer Bedeutung, da dem Kulturerbesektor eine wichtige Rolle in der Gesellschaft zukommt – Kulturerbe ist identitätsstiftend und trägt wesentlich zum wirtschaftlich prosperierenden Bereich des Kulturtourismus bei. In diesem Kontext kommt dem Kulturerbe die Rolle einer kritischen Infrastruktur zu.

Hierzu muss insbesondere zunächst das Verständnis der akuten Bedrohungsszenarien durch Extremwetterereignisse bei Entscheidern und allen Beteiligten („Stakeholdern“) des Kulturerbesektors verbessert werden, um auf dieser Basis die geeigneten Maßnahmen zu treffen. Um dies zu befördern und zu unterstützen, umfasste das Projekt KERES folgende für Deutschland erstmalige Forschungsleistungen:

- erstmalige Erstellung von sogenannten **Climate Fact Sheets** für die fünf im Projekt ausgewählten Kulturerbestätten: Die Ergebnisse zeigen die projizierten Entwicklungen von Extremwetterereignissen im Verlauf des 21. Jahrhunderts für ein Szenario ohne wirksamen Klimaschutz (IPCC Klimaszenario RCP8.5)
- Erstellung **interdisziplinärer Analysen der Vulnerabilität** der schützenswerten Kulturgüter (Gebäude, Monumente in Kulturlandschaften, historische Gärten und Parklandschaften) bezogen auf Extremwetterereignisse

- Erarbeitung der **Adaptions- und Resilienzmöglichkeiten** in Zusammenarbeit mit dem Kulturerbegremium sowie je nach Bedrohungsszenarium mit weiteren Stakeholdern/Akteuren
- Etablierung einer semantischen Wissensplattform – vom Sensor zur Entscheidung – zur **Vernetzung des Wissens und als Frühwarnsystem**, welche erstmals die Themenfelder Kulturgüterschutz und Krisenmanagement zusammenführt
- Etablierung eines **Gremiums für die Stakeholder des Kulturerbes, Vertreter des Brand- und Katastrophenschutzes** und weitere Akteure
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit von verschiedenen Organisationen** zum Thema Klimawandel/ Extremwetterereignisse und Kulturgüterschutz – Klimaforschung, Gebäudephysik, Pflanzenkunde, Kulturerbeinstitutionen, Sicherheitsforschung und Kulturerbenetzwerke
- Erarbeitung und Organisation von **Planspielen für Notfall- und Risikoprävention** sowie die Analyse und Anpassung der Organisations- und Kommunikationsstrukturen

Zudem leisten die Ergebnisse des Projekts auch Beiträge zu drei internationalen Abkommen: dem Klimaabkommen von Paris, den Sendai Richtlinien DRR sowie den UN Sustainable Development Goals und der nationalen Adaptionsstrategie Klimaschutz, in der das Thema Kulturgüterschutz unterrepräsentiert ist.



Das Projekt KERES basiert auf einem systematischen Ansatz, der eine stets aktuelle Bewertung der Situation nicht nur für die historischen Gebäude, sondern auch für die umgebenden Garten- und Parklandschaften in Bezug auf Risiken durch Extremwetterereignisse und Naturkatastrophen bietet. Damit wird erstmals der Katastrophenschutz mit zunehmenden Extremwetterereignissen in Folge des Klimawandels und Auswirkungen auf Kulturerbe zusammengebracht. Die Integration verschiedener Sensortechnologien von Satelliten-, Luft- und Bodensensoren in Kombination mit der Fusion der Ergebnisse von Umwelt- und Tiefbaumodellen verbessert die Bewertung der Verwundbarkeit. Die projizierten Klimaänderungen auf regionalen Klimaprojektionen, die im Rahmen der EURO-CORDEX-Initiative (<http://www.euro-cordex.net>) sowie des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes REKliEs-DE (<http://reklies.hlnug.de>) erstellt wurden, präzisieren die Bewertung der direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels, auch in Kombination mit anderen Arten von Ereignissen. Das verbesserte Wissen ist von entscheidender Bedeutung, um fortschrittliche Lösungen und Materialien für die Erhöhung der Resilienz und den nachhaltigen Wiederaufbau zu definieren und einzusetzen, die auf realistischen Risikoschätzungen basieren.

2. Projektablauf

2.1 Kritikalität schützenswerter Kulturgüter

Regionale Relevanz von Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen in Deutschland (AP1.1/Hereon-GERICS)

Am Climate Service Center Germany (GERICS) wurden grundlegende Untersuchungen zur zukünftigen regionalen Relevanz von Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen in Deutschland durchgeführt. Ziel war es, den Einfluss meteorologischer und hydrologischer Extremwetterereignisse auf Kulturgüter zu erfassen, um die (regionalen) Auswirkungen des Klimawandels auf das kulturelle Erbe besser zu verstehen. Dazu wurden aussagekräftige Informationen zu physikalischen Hauptklimatreibern und Extremen aufbereitet. Die Auswirkungen der Extremwetterereignisse auf das Kulturerbe wurden nach dem Stand der Wissenschaft mit dem aktuell verfügbaren Ensemble von Klimadaten für Deutschland und Europa untersucht. Die projizierten Klimaänderungen basieren auf regionalen Klimaprojektionen, die im Rahmen der EURO-CORDEX-Initiative (<http://www.euro-cordex.net>) sowie des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes REKliEs-DE (<http://reklies.hlnug.de>) und bilden das sogenannte KERES-Ensemble. Die Anwendung des KERES-Ensembles erlaubt es, die verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten der zukünftigen Extremwetterereignisse zu erfassen. Außerdem kann bei Verwendung des KERES-Ensembles die Qualität der Klimainformationen für die Zukunft abgeleitet werden, insbesondere die Robustheit der Klimaprojektionen, die die damit verbundenen Unsicherheiten erfassen.

Als Indikatoren für Extremwetter mit Einfluss auf das gebaute Kulturerbe und historische Gärten und Parkanlagen wurden u. a. langandauernde Hitzewellen, Sturm (Starkwind), Extremniederschläge und Trockenperioden identifiziert. Die Auswahl erfolgte in enger Absprache mit den Partnern Fraunhofer und SPSG und gemäß den Anforderungen aus AP2. Für diese ausgewählten Indikatoren wurden robuste Informationen für Wahrscheinlichkeit, Größe und Dimension zur Mitte (2036-2065) und zum Ende des 21. Jahrhunderts (2069-2098) extrahiert und Karten erstellt, die die zukünftige Änderung im Auftreten dieser Extreme veranschaulichen. Die Auswertung der Klimaprojektionen des KERES-Ensembles für das Klimaszenario RCP8.5 ohne Klimaschutz für die ausgewählten Kulturerbestätten zeigt die Veränderung der Häufigkeit von Extremwetterereignissen, die zu Schäden am Kulturerbe führen können.

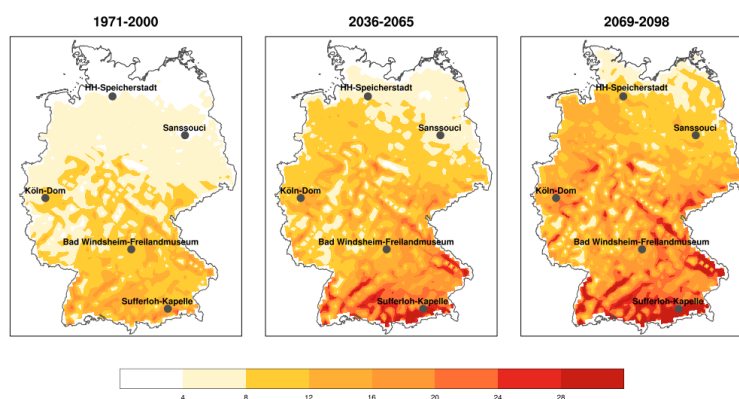


Abbildung 1: Gleichzeitig stattfindende Hitzewellen und Dürren [Tage/Jahr]

Mindestens 3 aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ und oberhalb des 95. Perzentils des Referenzzeitraums von 1971 bis 2000, kombiniert mit mindestens 5 aufeinanderfolgenden Tagen, an denen der tägliche Niederschlag $< 1\text{ mm}$ beträgt.

Die Entwicklung der temperaturbedingten Extreme zeigt eine erkennbare Zunahme, die gegen Ende des 21. Jahrhunderts besonders ausgeprägt ist. Am stärksten betroffen sind Charlottenhof, Sufferloh und Bad Windsheim. Die Ergebnisse des KERES-Ensembles für niederschlagsbedingte Extreme, z. B.

Trockentage im Sommer, zeigen zunächst nur die tendenzielle Veränderung bis Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts. Hinsichtlich der Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag ist für Sufferloh, Kölner Dom und Bad Windsheim eine potenzielle Zunahme zu erwarten. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts ist für alle KERES-Fallstudien eine robuste Zunahme der Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag zu erwarten.

weitere Details zu den Projektionen siehe Kapitel 3.1 und KERES-Broschüre, Kapitel 1 „Regionale Relevanz von Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen“

Vulnerabilität von historischen Gebäuden (AP1.2/Fraunhofer IBP)

Im Rahmen des KERES-Projektes wurde die spezifische Vulnerabilität von historischen Bauwerken untersucht. Zur Vulnerabilität von Bauwerken liegen bereits verschiedene Einschätzungen vor, die sich jedoch meist auf sehr allgemein gefasste Gebäudeschäden konzentrieren, welche die Nutzbarkeit von Gebäuden beeinträchtigen (z. B. Überhitzung des Innenraumes oder Sturmschäden). Bei einem historischen, denkmalgeschützten Bauwerk ist der Schadensbegriff jedoch anders zu definieren, da z. B. der Verlust einer bemalten Wandoberfläche für die Denkmalbedeutung dramatisch sein kann, für die Nutzbarkeit des Gebäudes jedoch von geringer Bedeutung ist. Daraus ergibt sich, dass Denkmäler empfindlicher gegenüber äußeren Einflüssen und den Folgen des Klimawandels reagieren können. Die Anpassungskapazität von Baudenkmalen ist unter Umständen sehr gering, wenn sich durch Anpassungsmaßnahmen z. B. wichtige Gestaltungsmerkmale der Fassade verändern würden und die Aussagekraft des Denkmals darunter leiden würde. Andererseits haben zahlreiche Denkmäler bereits die Krisen und Veränderungen mehrerer Jahrhunderte überstanden, weshalb sie in mancherlei Hinsicht eine große Robustheit zeigen.

Bei einer Vulnerabilitätsbetrachtung denkmalgeschützter historischer Bauten gilt es folglich, sowohl die Einflüsse als auch die Eigenschaften und Potenziale der Gebäude zu definieren und den Rahmen für eine mögliche Anpassung aufzuzeigen. Um die ausschlaggebenden Eigenschaften und Einflüsse auszumachen, sind Wirkungsketten ein nützliches Werkzeug. Dabei werden Ursachen und Auswirkungen in Beziehung zueinander gesetzt, z. B. kann ein Extremwetterereignis mit Hochwasser zu einer Durchfeuchtung der Wände führen. Beim Abtrocknen kann es zu Salzausblühungen und dem Ablösen der Putzoberfläche kommen. Je nach Eigenschaft der Wand und Wertigkeit der Oberfläche lässt sich daraus eine Vulnerabilität ableiten.

weitere Details siehe KERES-Broschüre, Kapitel 3.1 „Vulnerabilität historischer Bauten“

Vulnerabilität von historischen Gärten und Parkanlagen (AP1.3/SPSG)

Neben gebauten Kulturgütern wurden im KERES-Projekt auch die historischen Parkanlagen Sanssouci und Babelsberg eingehend untersucht, hier im speziellen die Parkwege und der Baumbestand, da diese Elemente zum einen maßgeblich zum Erscheinungsbild des Gartendenkmals beitragen, zum anderen aber auch das größte Sicherheitsrisiko für Personen darstellen können. Im Gegensatz zu gebauten Objekten, zu denen auch die Wege in den Parkanlagen zählen, haben Bäume die Fähigkeit, sich in einem gewissen Maß an äußere Veränderungen anzupassen. Die Geschwindigkeit, in der Extremwetterereignisse zunehmen, überfordert die Bäume jedoch – sie benötigen mehr Zeit, um eine robuste Resilienz zu entwickeln. Dies bedeutet, dass Strategien und Maßnahmen notwendig sind, um die historischen Gärten in Zeiten fortschreitender Klimaveränderung langfristig zu erhalten. Um wirkungsvolle Anpassungsmaßnahmen sowohl für Parkwege als auch den Gehölzbestand in den historischen Gärten zu entwickeln, müssen zunächst Schadensbilder identifiziert und deren Ursachen verstanden werden. Daraus lässt sich eine Einschätzung der Vulnerabilität für die historischen Gärten ableiten.

Im ersten Schritt wurden Schadensbilder in beiden Parkanlagen aufgenommen, die in den vergangenen Jahren, v. a. seit dem extremen Trockenjahr 2018, entweder gehäuft auftreten oder auch neu hinzugekommen sind. Unterschieden wurde dabei zwischen Schäden an Parkwegen und Schäden an Gehölzen, letztere wurden dann noch einmal unterteilt in primäre und sekundäre Schäden. Hierbei konnte das digitale Baumkataster genutzt werden, dass von den Fachbereichsleitungen zur Durchführung der Baumkontrolle verwendet wird. Die Beobachtungen zeigen, dass Wegeinstandsmaßnahmen nach Starkregenereignissen in den vergangenen Jahren häufiger durchgeführt werden müssen. Auch Sperrungen von Wegeabschnitten sind immer öfter zum Schutz der Besuchenden notwendig. Eine Besonderheit der denkmalgeschützten Gärten ist der Wegeaufbau nach historischem Vorbild. Dabei werden die verschiedenen Schichten ohne Bindemittel hergestellt (sogenannte wassergebundene Wegedecken). Diese Bauweise, die sich über Jahrhunderte bewährt hat, funktioniert bei zu starken Wechslen von Dürre und Niederschlag aber nur noch bedingt. Die Wege werden zum Teil bis auf die unterste Schicht ausgespült und sind dann auch nicht mehr begehbar.

Gehölze leiden sowohl unter den langanhaltenden Trockenphasen in Frühjahr und Sommer als auch unter der zunehmenden Hitze und UV-Einstrahlung. Primäre Schadensbilder, die seit 2018 gehäuft auftreten, sind beispielsweise Rindenschäden durch Sonneneinstrahlung, eingetrocknete Kronen oder Starkastabbrüche, zunehmend auch in belaubtem Zustand. Vor allem Letztere stellen durch die Unvorhersagbarkeit ein Sicherheitsrisiko für Menschen dar, die sich in den Gärten bewegen.



Die sekundären Schäden werden zum einen durch Bakterien, Pilze oder Schädlinge verursacht, die die bereits geschwächten Bäume befallen. Fäulnis und die Zerstörung der versorgenden Leitungsbahnen innerhalb der Gehölze führen dazu, dass Wurzeln und Äste absterben.

Hinsichtlich der Vulnerabilität gegenüber Wetterextremen entsteht für die Potsdamer Gärten Sanssouci und Babelsberg die größte Gefährdung durch langanhaltende Dürrephasen und zunehmende Starkregenereignisse. Zudem ist der geschwächte Baumbestand durch Sturmereignisse stärker als bisher bedroht.

Abbildung 2: Aufnahme typisierter Schadensbilder an Gehölzen: Rindenschäden an einer Rotbuche im Park Sanssouci, die durch erhöhte UV-Einstrahlung entstanden sind. © SPSG

weitere Details siehe KERES-Broschüre, Kapitel 3.2 „Vulnerabilität historischer Gärten“

2.2 Vermeidung von akuten Schadenslagen

Prävention für historische Gebäude (AP2.1/Fraunhofer IBP)

Mit der fortschreitenden Erwärmung werden auch Extremklimaereignisse immer häufiger und schneller auftreten. Vor allem Stürme gepaart mit Starkregen, Hagel und Überschwemmungen haben eine hohe Zerstörungskraft und fügen dem gebauten Kulturerbe und den darin befindlichen Sammlungen große Schäden zu. Aber auch zunehmende Hitze- und Trockenperioden führen zu vermehrten Schäden in Form von Grundbruch oder Deformationsschäden durch Schwinden (Rissbildung etc.). Als weiteres Schadensphänomen sind die verstärkte chemische und biologische Degradation durch die steigenden Temperaturen zu nennen.

Präventionsmaßnahmen müssen daher sowohl organisatorisch sein, um bspw. eine bessere Wartung und Pflege zu garantieren, als auch baulich, um eine intakte Wasserführung am Gebäude zu garantieren oder Maßnahmen zur Stabilisierung des Raumklimas zu etablieren und Besucherinnen und Besucher im Sommer durch sommerlichen Wärmeschutz vor Hitze zu schützen. Dabei sind auch temporäre Schließungen von historischen Gebäuden und Anlagen eine denkbare Lösung. Einen besonders

empfindlichen Bautypus stellen dabei Fachwerkgebäude dar. Aufgrund unterschiedlichster Materialeigenschaften reagieren die Einzelkomponenten teilweise divers oder sogar gegenläufig auf die einwirkenden Einflüsse. Generelle Wetterphänomene, wie beispielsweise Regen, Wind und Sonneneinstrahlung, beanspruchen den Baustoffverbund des Fachwerkes. Hier kann im Zuge von Fassadeninstandsetzungen bei verputzten Gebäuden eine bauliche Anpassung mit einem entsprechenden Putzträgersystem bspw. besseren Schutz vor eindringendem Wasser bieten.

Anhand der Fallstudien wurde exemplarisch die für die jeweiligen Gebäude vorliegende Gefährdung durch extreme Klimaereignisse herausgearbeitet und eingehend untersucht. Die dabei angewandte simulationsbasierte Bewertungsmethodik ist in Abbildung 3 exemplarisch für die Fallstudie Schloss Charlottenhof dargestellt.

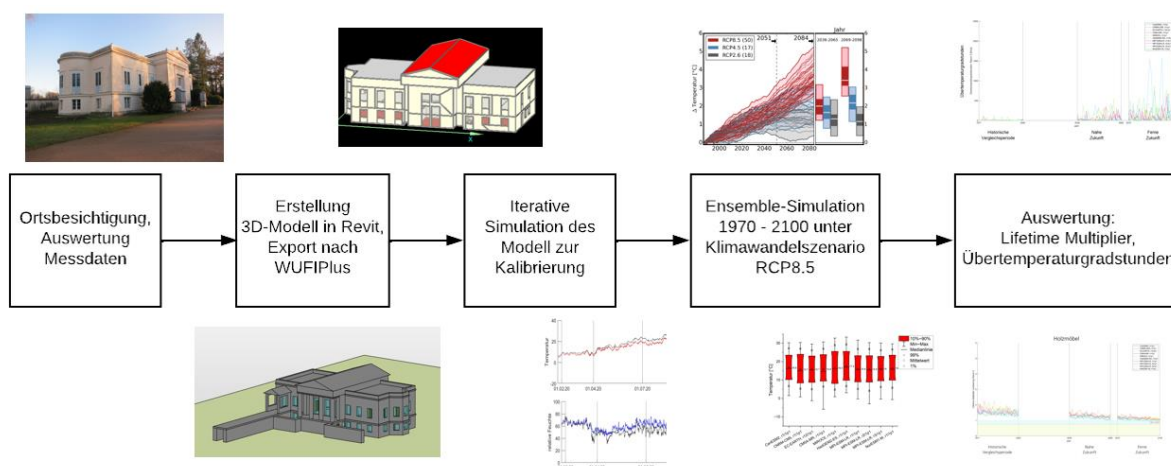


Abbildung 3: Ablauf der simulationsbasierten Gefährdungsbewertung der Fallstudien unter Nutzung der Ensemble-Klimaprojektionen und Bewertung der Ergebnisse am Beispiel der hygrothermischen Gebäudesimulation von Schloss Charlottenhof, Potsdam © Fraunhofer IBP

Hierfür wurde die bauliche Struktur der Gebäude je nach Fragestellung detailliert analysiert, um, soweit für die Fallstudie zutreffend, die primären Ursachen für akute Schadenslagen herauszuarbeiten. Anhand der im Projekt erstellten Klimawandelszenarien sowie messtechnisch vor Ort in Köln, Bad Windsheim, Sufferloh und Charlottenhof mit Wetterstationen und Datenlogger-Systemen erfassten Umweltdaten wurden entsprechend der herausgearbeiteten Fragestellung rechnerische Untersuchungen (Bauteil-, Gebäude- und Stadtklimasimulationen) durchgeführt. Zum einen wurden damit die langfristige Entwicklung möglicher Gefährdungen wie z. B. Hitzegefährdung (Fallstudie Charlottenhof) analysiert und zum anderen präventive Maßnahmen zur Vermeidung von akuten Schadenslagen z. B. durch Schlagregen (Fallstudie Sufferloh und Bad Windsheim) untersucht. Bei der Fallstudie in Köln wurde nach ausführlicher Abstimmung mit den Baubeauftragten und Restauratorinnen und Restauratoren eine Wetterstation an der Fassade installiert, um die Temperaturen und die Windanströmung an der Südfassade genauer zu bestimmen und damit die stadtbauphysikalische Klimasimulation zu validieren.

Konkret wurde an den Fallstudien sowohl für historische als auch künftige klimatische Bedingungen untersucht:

- **Bad Windsheim:** Für das 1588 erbaute Amtshaus Obernbreit wurden die schlagregeninduzierten Schäden an historischen Fachwerkkonstruktionen untersucht. Die Fachwerkkonstruktion wurde dabei als zweidimensionaler Querschnitt in dem hygrothermischen Bauteilsimulationsmodell WUFI® 2D abgebildet und anhand von parallel im Rahmen von KERES durchgeführten Holzfeuchte- sowie Innen- und Außenklimamessungen kalibriert. Bewertet wurden die Simulationen hinsichtlich der Schadensmechanismen Frost-Tau-Wechsel und erhöhte Holzfeuchte.

- Die **Frauenbergkapelle in Sufferloh** bei Holzkirchen als zweite Fallstudie zeigte in der Vergangenheit immer wieder starke Feuchteschäden an der Westwand, deren Ursache jedoch nicht eindeutig zugeordnet werden konnte. Daher wurde die hygrothermische Bauteilsimulation mit WUFI® 2D eingesetzt, um Feuchte aufgrund von Schlagregen von aufsteigender Feuchte aus dem Bodenuntergrund unterscheiden zu können und somit zu beweisen, inwieweit es sich bei den vorgefundenen Schäden um schlagregeninduzierte Schäden handelt, um letztlich daraus Instandsetzungsempfehlungen abzuleiten. Zusätzlich wurde die Kapelle auch in der hygrothermischen Gebäudesimulation mit WUFI® Plus abgebildet und das Simulationsmodell anhand von Messdaten kalibriert, um die Auswirkungen der Schlagregenbeanspruchung auf das Innenraumklima zu untersuchen. Der Fokus wurde dabei auf die Feuchtebeanspruchung und die damit verbundenen Schädigungsprozesse der Bausubstanz und des Interieurs gesetzt. Weiter wurden verschiedene Klimatisierungstechniken in das Modell implementiert und deren Auswirkungen auf das Raumklima und den Energieverbrauch untersucht. Bei der Ergebnisauswertung lag der Fokus auf einem konservatorisch geeigneten Raumklima mit Betrachtung der biologischen Schadensprozesse wie Schimmelpilzwachstum sowie Veränderungen der Jahresmittelwerte der relativen Feuchte des Raumklimas und deren kurzfristigen Schwankungen.
- Für die Fallstudie **Charlottenhof** wurde mittels hygrothermischer Gebäudesimulation mit WUFI® Plus untersucht, wie sich künftig deren Innenraumklima verändert. Der Fokus wurde dabei auf die Hitzebeanspruchung sowie damit verbundene Schädigungsprozesse des Interieurs und deren Auswirkungen auf die menschliche Behaglichkeit gesetzt. Dazu wurde das Schloss als mehrzonales Gebäudesimulationsmodell abgebildet, welches anhand von bestehenden und in KERES durchgeführten Raumklimamessungen kalibriert wurde. Bei der Ergebnisauswertung lag der Fokus auf den chemischen Schadensprozessen unter Betrachtung des sogenannten Lifetime Multipliers für unterschiedliche Materialien sowie generellen Hitzeeffekten anhand der Auswertung der Übertemperaturgradstunden. Maßnahmen zur Reduktion der Hitzebeanspruchung wurden identifiziert.
- Am **Kölner Dom** wurden die Auswirkungen von Sturmereignissen sowie extremen Hitzeperioden mit Hilfe des Stadtklimamodells PALM-4U untersucht. Für die Untersuchungen wurde zuerst ein dreidimensionales Modell des Doms sowie der Kölner Innenstadt erstellt. Grundlage dafür waren das von der Domverwaltung zur Verfügung gestellte CAD-Modell des Doms sowie frei verfügbare Geodaten des Geoportals Nordrhein-Westfalen. Simulationen zur Windumströmung des Doms wurden durchgeführt, um zum einen Ursachen für auftretende Abwinde an der Domfassade und dem Roncalliplatz zu identifizieren und zum anderen einen Zusammenhang zwischen lokal auftretender Steinverwitterung in Form von Alveolenbildung und den gebäudenahen Windfeldern zu untersuchen. Die Simulationen wurden auf Grundlage von Messdaten auf der Südturmspitze und der im Rahmen von KERES durchgeführten Windmessung am Balkon der Südfassade des Doms kalibriert. Aus den Simulationsergebnissen konnte eine Kartierung von Orten mit hoher Windbelastung an der Fassade und Anströmrichtungen mit starken Abwinden identifiziert werden (siehe Abbildung 4). Zusätzlich wurde die Hitzebelastung an einem typischen heißen Sommertag in der Kölner Innenstadt bewertet, wobei sowohl die Hitzebelastung am Tag als auch in der Nacht betrachtet wurde. Dabei konnten die Südfassade des Doms und der angrenzende Roncalliplatz als Bereich mit der höchsten Hitzebelastung identifiziert werden.

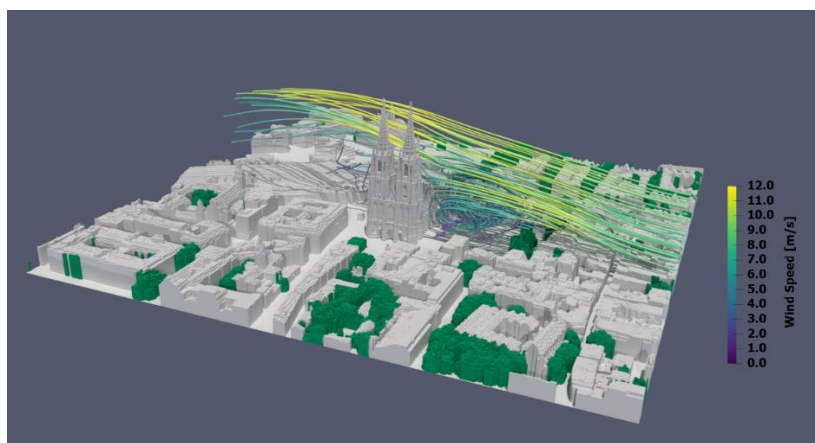


Abbildung 4: Simulation zur Windanströmung des Kölner Doms aus Süden, einer der Hauptwindrichtungen. Die Abwinde entstehen vor allem vor der Südfassade und wirken auf den gesamten Roncalliplatz. Aus Gründen der Übersicht sind die Strömungslinien nur im Bereich des Doms visualisiert. © Fraunhofer IBP

Es konnte durch die Analysen und Untersuchungen festgestellt werden, dass sich z. T. bisherige bauliche Maßnahmen als ungeeignet bzw. nicht ausreichend für die Vermeidung akuter Schadenslagen erwiesen. Für Gebäudetypen mit ähnlichen Gefährdungsszenarien wie die Fallstudie Sufferloh kann als präventive Maßnahme auf bestehende am Markt erhältliche Materialien zurückgegriffen werden. Die Herausforderung liegt bei solchen Gebäuden darin, geeignete präventive Maßnahmen zu identifizieren und unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten umsetzen zu können.

Die traditionellen baulichen Maßnahmen mit Fassadenputz, zum Schutz besonders empfindlicher Fachwerkgebäude vor akuten Schadenslagen durch extreme Schlagregenereignisse, sind prinzipiell als präventive Maßnahme geeignet. Jedoch zeigten sich an der Fallstudie Bad Windsheim in der traditionellen Methode erhebliche Unzulänglichkeiten der baulichen Ausführung, die es schwierig machen, einen dauerhaften Schlagregenschutz aufrecht zu erhalten. Die traditionelle bautechnische Ausführung führt innerhalb weniger Jahre wieder zu akuten Schadenslagen bei extremen Wetterereignissen. Anhand dieser Erkenntnisse wurde eine Idee für ein Fassadenschutzsystem entwickelt, die die Unzulänglichkeiten der traditionellen Ausführung überwinden soll und denkmalpflegerisch vertretbar erscheint. Um die Idee des Fassadenschutzsystems für Fachwerkgebäude zu konkretisieren, wurde am Freilandversuchsgelände des Fraunhofer IBP ein Demonstrator an einem Fachwerk-Versuchsgebäude aufgebaut, der nun frei bewittert wird und erste Erkenntnisse zu dem neuen System ermöglicht, die die Basis für eine Weiterentwicklung und Markteinführung bilden.

weitere Details siehe Kapitel 3.2 und 3.5

Prävention für historische Gärten und Parkanlagen (AP2.2/SPSG, Fraunhofer IBP)

Um die historischen Gärten trotz der Zunahme von Extremklimaereignissen für zukünftige Generationen in ihrer Substanz zu erhalten, müssen verschiedene präventive Maßnahmen ergriffen werden, deren Effekte sowohl mittel- als auch langfristig eintreten. Als größte klimatische Bedrohungen für die historischen Gärten in der Potsdamer Region wurden langanhaltende Dürrephasen, häufiger auftretende Starkregenereignisse sowie Sturmereignisse identifiziert.

Für den Schutz und Erhalt der Gehölze konzentrieren sich Präventionsmaßnahmen auf eine Stärkung und Revitalisierung der Bestandsbäume sowie die Förderung resilienter Nachpflanzungen. Die bereits praktizierten Maßnahmen, wie bspw. ressourcenschonende Tropfbewässerungsanlagen oder die gezielte Bewässerung von Neupflanzungen und besonders wertvollen Altgehölzen müssen unter den veränderten Klimabedingungen ausgebaut bzw. intensiviert werden. Bodenverbesserungsmaßnahmen

durch wasserhaltende Stoffe wie Ton, Schafwolle oder Pflanzenkohle gehören ebenfalls bereits zur Praxis in der Pflege der historischen Gärten. Erprobt wurde die gezielte Nährstoffversorgung durch oberflächliche Kompostgaben sowie die Injektion von Huminstoffen, letztere im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. ATB. Weitere innovative Maßnahmen, die im Rahmen von KERES entwickelt werden konnten, beziehen sich vor allem auf die langfristige Sicherung des Baumbestandes durch Nachpflanzungen, die eine hohe Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen aufweisen.

Um verschiedene Ansätze der Nachpflanzungen zu erproben, wurden in den Parkanlagen Sanssouci und Babelsberg insgesamt acht sogenannte Entwicklungsflächen angelegt. Diese unterscheiden sich in ihren Standortbedingungen, in der Intensität der Pflege sowie der Auswahl der gepflanzten Gehölze. Die Auswahl der Flächen richtet sich auch nach den gartendenkmalpflegerischen Zielen, d. h. es wurden Areale ausgewählt, in denen zum Teil durch Extremwetterereignisse verursachte Lücken wieder gefüllt werden sollen. Die Flächen wurden vermessen und in digitale Plangrundlagen aufgenommen. Einige der Flächen mussten für die Pflanzung der Gehölze vorbereitet werden, Baumstubben und unerwünschter Aufwuchs mussten entfernt werden. Sämtliche Flächen wurden mit Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte ausgestattet, im Rahmen einer Studierendenarbeit wurde ein Monitoring zur Überwachung der Flächen entwickelt.

Die Pflanzenauswahl erfolgte unter zwei Aspekten: Sogenannte Gehölzentwicklungspläne, die für alle Gärten der SPSG erstellt werden und auf historischen Grundlagen basieren, geben vor, welche Arten und Sorten gepflanzt werden müssen, um das gewünschte Erscheinungsbild zu bewahren. Darüber hinaus wurden Beobachtungen der vergangenen Jahre berücksichtigt, die darauf hinweisen, dass die Herkunft der Nachpflanzungen eine zunehmende Bedeutung spielt. Es zeigt sich, dass Pflanzenmaterial aus regionalen Forstbaumschulen bessere Anwachschanzen hat als zugekaufte Gehölze konventioneller Baumschulen. Ebenfalls gute Ergebnisse werden mit Gehölzen aus Eigenwerbung erzielt, die im eigenen Bestand, also durch natürliche Verjüngung älterer Parkgehölze, aufwachsen. Selektiert werden Setzlinge und Jungbäume besonders vitaler Gehölze, die an anderer Stelle wieder ausgebracht werden können. Auf den Entwicklungsflächen wurden daher zum überwiegenden Teil Gehölze aus Eigenwerbung und aus regionalen Forstbaumschulen gepflanzt. Nur wenige spezielle Arten und Sorten mussten über eine konventionelle Baumschule erworben werden.

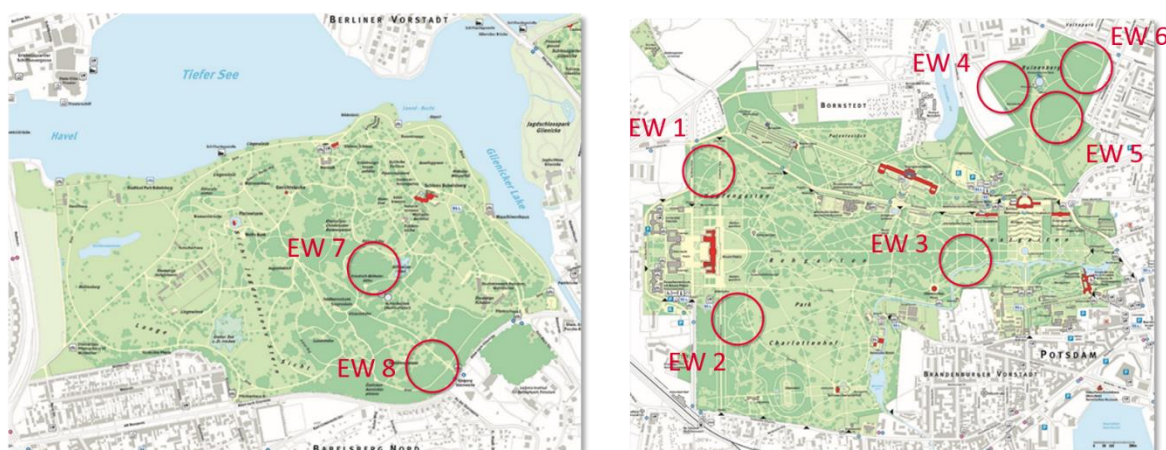
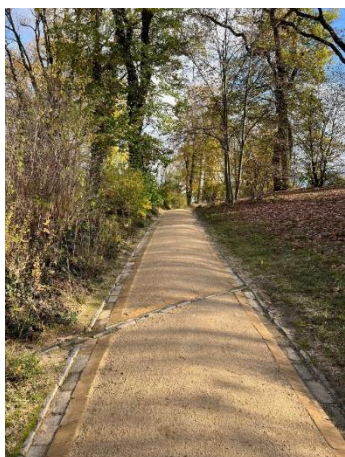


Abbildung 5: Verortung der Entwicklungsflächen in den Parkanlagen Sanssouci und Babelsberg. Bei der Auswahl wurde u. a. auf ein möglichst breites Spektrum an Standortfaktoren geachtet, um die Übertragbarkeit auf andere Anlagen zu erhöhen.
© SPSG

Hinsichtlich der wassergebundenen Wege liegen die Handlungsfelder im Ausbau der Entwässerungssysteme sowie stabileren Bauweisen, die unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten vertretbar sind. Bei der Instandsetzung des Bullenwiesenweges im Park Sanssouci wurden zusätzlich zu den bisherigen Entwässerungsschächten Ringrigolen eingebaut, die in den benachbarten Parkgraben entwässern. Ein Weg im Babelsberger Park, der ein relativ starkes Gefälle aufweist, wurde hinsichtlich der immer häufiger auftretenden Schäden durch Starkregen ertüchtigt.



Die vorhandenen seitlichen Entwässerungsrinnen wurden unter Berücksichtigung der historischen Bauweise in ihrer Breite verdoppelt. Zusätzlich wurde die charakteristische Mittelüberhöhung noch einmal verstärkt, um einen besseren Niederschlagsabfluss zu gewährleisten. Wo es die Topographie erlaubt, wurden bei Wegeinstandsetzungen zusätzliche Querrinnen eingebaut, die in die angrenzende Vegetation entwässern. Da zukünftig mit langanhaltenden Trockenperioden zu rechnen ist, wird der Wasserrückhalt im Gelände für die Anpassung an den Klimawandel immer wichtiger, um zum einen mikroklimatische Faktoren wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit in einem gemäßigten Bereich zu halten, zum anderen aber auch die Anreicherung des Grundwassers zu fördern.

Abbildung 6: Maßnahmen zum Schutz und Erhalt der Parkwege in historischen Gärten: Die Verbreiterung der seitlichen Entwässerungsrinnen durch eine zusätzliche Klinkerschicht kann größere Wassermengen ableiten. Querrinnen leiten anfallendes Wasser in die Vegetation, die Überhöhung der Wegemitte verbessert den Abfluss bei Starkregenereignissen.
© SPSG

weitere Details siehe Kapitel 3.3 und KERES-Broschüre, Kapitel 4.2 „Prävention und Anpassung für historische Gärten“

Neben der Untersuchung von Baudenkmalern und Schadensfällen an deren Bausubstanz und dem Gebäudeinnenraum beschäftigten sich die Simulationen im KERES-Projekt auch mit Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf historische Gärten und Parkanlagen. Konkret wurden dabei vom Fraunhofer IBP die Auswirkungen von extremen Hitzeperioden sowie Sturmereignissen mit Hilfe des Stadtklimamodells PALM-4U für den Schlosspark Sanssouci untersucht. Dafür wurde zuerst ein hochauflösendes dreidimensionales Modell des Schlossparks erstellt, welches Informationen zur Topografie, zu den Landoberflächen, den Gebäuden sowie der dreidimensionalen Vegetation (Bäume und Sträucher) enthält. Grundlage dafür waren frei verfügbare Geodaten des Geoportals Brandenburg. Für die Ermittlung der Vegetationsdaten wurde eine Methode zur automatisierten Bestimmung der nötigen Kenndaten aus öffentlichen Fernerkundungsdaten (Airborne Laserscans, Luftbilddaufnahmen, Höhenmodellen) entwickelt. Gemessene Wetterdaten aus nahegelegenen DWD-Wetterstationen wurden genutzt, um die daraus ermittelten typischen heißen Tage mit denen aus dem KERES-Ensemble der historischen Vergleichsperiode zu kalibrieren. Für die Analyse der Simulationen wurden jeweils die Hitzebelastung am Tag sowie in der Nacht herangezogen und die Veränderungen über die drei in KERES betrachteten Zeitperioden bewertet. Abbildung 7 zeigt als Beispiel dazu die Hitzebelastung für die historische Vergleichsperiode. Für die Bewertung der Sturmsituation sei auf Kapitel 3.5 verwiesen.

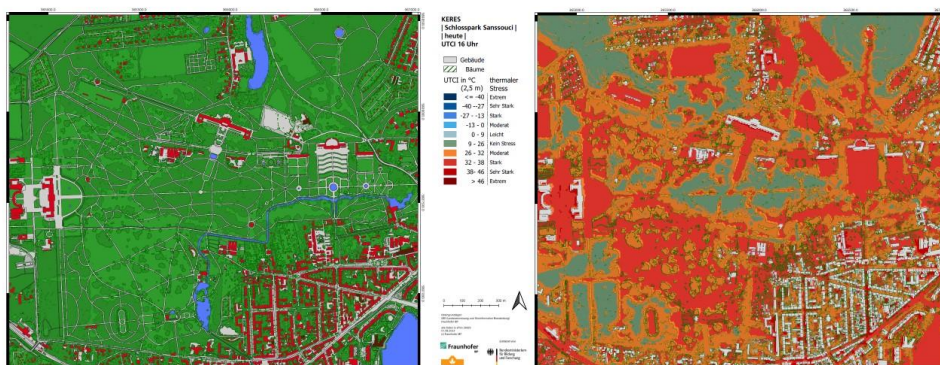


Abbildung 7: Karte des Schlossparks Sanssouci mit Darstellung der Eingangsdaten für die PALM-4U-Simulation (links) und simulierte Ergebniskarte der Hitzebelastung an einem heißen Sommertag um 16:00 Uhr unter aktuell typischen klimatischen Bedingungen (rechts) © Fraunhofer IBP

2.3 Bewältigung von akuten Schadenslagen

Entwicklung der Ontologie (AP3.1/Fraunhofer IOSB)

Die KERES-Ontologie basiert auf der HERACLES-Ontologie, die im Projekt HERACLES entwickelt wurde. Zur Ergänzung wurden weitere Ontologien (bspw. beAWARE-Ontologie oder CIDOC-CRM) untersucht, um entsprechende Modellierungen möglichst zu übernehmen. Die Endnutzer wurden in mehreren Workshops in die Entwicklung der Ontologie eingebunden. Neben vielen informellen Abstimmungen wurden formale Workshops abgehalten, in denen die bisherigen Ergebnisse und Anwendungsfälle präsentiert wurden. Das Feedback der Experten aus ziviler Sicherheit und der Kulturgütergemeinschaft wurde aufgegriffen und implementiert. Die Fähigkeiten der Ontologie wurde an sogenannten *Competency Questions* bemessen: Die Nutzer konnten Anforderungen in Form von Fragen formulieren, auf die sie Antworten benötigten. Wenn diese Fragen mithilfe von SPARQL-Abfragen mithilfe der Ontologie wiedergegeben werden konnten, wurden die entsprechenden Anforderungen als erfüllt angesehen. Die Anforderungen wurden in Workshops eingesammelt und anschließend in einem Review-Workshop mit potenziellen Nutzerinnen und Nutzern präsentiert.

Datum	Workshop-Titel
20.07.2021	Kulturgutexperten-Workshop
03.09.2021	Workshop mit Experten aus Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Workshop)
21.09.2021	Review-Workshop mit Experten aus Kultur und Sicherheit

Tabelle 1: Ontologie-Workshops im Rahmen des Projekts KERES

weitere Details siehe Kapitel 3.6 und KERES-Broschüre, Kapitel 5.1 „Die KERES-Plattform“

Entwicklung der KERES-Wissensplattform (AP3.2/Fraunhofer IOSB)

Die KERES-Wissensplattform wurde zum Beginn des Projekts von Fraunhofer IOSB aufgesetzt und im Rechenzentrum des Instituts gehostet. Dies beinhaltete die Wissensbasis, basierend auf WebGenesis, und die Sensordatenbank FROST. Anschließend wurden die Arbeitsergebnisse iterativ in die Plattform integriert. Dies geschah, je nach Projektergebnis nach Verfügbarkeit. So wurden die Daten in verschiedenen Ausbaustufen auf der Plattform veröffentlicht und weiterentwickelt.

Zur Entwicklung der Karte mit Sensordaten wurde das dafür nötige Gateway mit den entsprechenden Sensoren am 29.09.2021 nach Potsdam gesendet. Nach Ausbringung der Sensorik ab dem 25.10.2021 wurden die Daten abgegriffen, im FROST-Server abgelegt und zur Schaffung des entsprechenden Lageverständnisses in die Webplattform eingepflegt. Im Gegensatz zu einmaligen Entwicklungsleistungen wurden die Ergebnisse der Ontologie iterativ in die KERES-Wissensplattform integriert, da diese in Abhängigkeit des gelieferten Inputs weiterentwickelt und abgeändert wurde. Weitere Projektergebnisse, wie beispielsweise Klimadaten oder Sensordaten, wurden iterativ im Projektverlauf entwickelt und ebenfalls semantisch korrekt in die Plattform aufgenommen. Nach der Finalisierung der Ontologie hat das Forschungsteam festgestellt, dass die Durchsuchung dieser den Nutzern schwerfiel. Um die Navigation und Auffindung von Informationen einfacher zu gestalten, hat das Fraunhofer IOSB die Anwendung FINDER entwickelt. Diese ermöglicht die strukturierte Abfrage von Informationen, um beispielsweise Handlungsempfehlungen zu Kulturgütern mit gewissen Eigenschaften leichter zu finden. Die Anwendung wurde in die Wissensplattform integriert, um die Verwendung dieser zu vereinfachen.

Durch die Zusammenführung der Kulturgütergemeinde mit Experten aus dem Sicherheitskontext hat sich herausgestellt, dass die Schaffung von Laufkarten zur Evakuierung von Kulturgütern aus Gebäuden ein bis dato nur in Bayern adressiertes Thema ist. Das Fraunhofer IOSB hat nach dem Review-Workshop die Entwicklung der Software WALKER aufgenommen, um die Erstellung von Laufkarten für die Evakuierung von Objekten aus Kulturgütern zur vereinfachen. Diese Anwendung ist ebenfalls Teil der Wissensplattform geworden, wurde so jedoch nicht im Projektantrag adressiert.

weitere Details siehe Kapitel 3.6 und 3.7 sowie KERES-Broschüre, Kapitel 5.1 „Die KERES-Plattform“

Entwicklung einer mobilen Anwendung (AP3.3/Fraunhofer IOSB)

Das Fraunhofer IOSB hat einen Prototyp für eine mobile Anwendung („App“) zur Koordinierung von Freiwilligen im Katastrophenfall entwickelt. Diese Anwendung wurde von November 2020 bis Mai 2021 entwickelt. Die Entwicklung der Anwendung gliederte sich nach dem Wasserfallmodell in die Phasen Pflichten-/Lastenhefterstellung, Entwurf, Implementierung und Qualitätssicherung. Der zeitliche Ablauf wird in der untenstehenden Tabelle dargestellt.

Phase	Zeitraum
Pflichten- und Lastenhefterstellung	November/Dezember 2020
Entwurf	Dezember 2020/Januar 2021
Implementierung	Januar/Februar 2021
Qualitätssicherung	März 2021

Tabelle 2: Ablauf der Entwicklung der mobilen Anwendung

Die Anwendung RESKUE bietet die Verwaltung von Benutzern und Rollen sowie von Kulturgütern, die überwacht/geschützt werden sollen. Dabei können Nutzern verschiedene Aufgaben, wie die Evakuierung eines Objekts, zugewiesen werden. Weiterhin können einem Kulturgut zugewiesene Freiwilligenhelfer alarmiert werden, wenn dieses als *gefährdet* markiert wird. Die Anwendung wird durch die Möglichkeit des Nachrichten- und Medien austauschs sowie einer Lagedarstellung für die Kulturgüter ergänzt.

weitere Details siehe Kapitel 3.8 und KERES-Broschüre, Kapitel 5.1 „Die KERES-Plattform“

2.4 Einbindung der Akteure

Einbindung der Stakeholder aus den Fallstudien und dem Expertengremium (AP4.1+4.2/Fraunhofer IMW)

Auswahl der KERES-Fallstudien

Zu Beginn des Projekts wurden in enger Abstimmung der Projektpartner die finalen Fallstudien festgelegt. Ziel war es eine möglichst große Bandbreite an geografischen, klimatischen und bautechnischen Kriterien abzudecken, um so eine breite Übertragbarkeit zu gewährleisten (siehe Abbildung 8 und Tabelle 3: Übersicht der Fallstudien mit relevanten Extremwetterereignisse). Gleichzeitig wurde bei den ausgewählten Fallstudien darauf geachtet, dass der Zugang zu den Objekten bzw. benötigten Daten gewährleistet sein würde, um die im Projekt geplanten Arbeiten erfolgreich durchführen zu können.



Abbildung 8: Verteilung der KERES-Fallstudien

Im Ergebnis fiel die Wahl auf fünf Fallstudien, die die Bereiche *historische Gebäude* und *historische Parkanlagen* und gleichzeitig das Risiko verschiedener Extremwetterereignisse repräsentieren. Bei den Gebäuden wiederum sind unterschiedliche Gebäudetypen in Bezug auf Material, Größe und Nutzung vertreten, um ein möglichst breites Spektrum an Schadensrisiken und Maßnahmen abzudecken. Drei der Fallstudien sind als UNESCO-Welterbe anerkannt, was die Sichtbarkeit des Projekts KERES erhöht. Zwei der Fallstudien wurden von den Projektpartnern (Potsdam/SPSG und Sufferloh/Fraunhofer IBP) verwaltet, drei weitere Fallstudienpartner wurden über einen LoI als assoziierte Partner aufgenommen (Freie und Hansestadt Hamburg/Behörde für Kultur und Medien, Metropolitankapitel der Hohen Domkirche Köln, Fränkisches Freilandmuseum Bad Windsheim).

Fallstudien	Relevante Extremwetterereignisse
Hamburg UNESCO Welterbe Chilehaus, Speicherstadt	Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten
Potsdam UNESCO Welterbe Sanssouci und Babelsberg, Schloss Charlottenhof	Trockenperioden und Stürme
Köln UNESCO Welterbe Dom	Hitzewellen und Hitzeinseln
Bad Windsheim Freilandmuseum	Wind und Stürme
Sufferloh Frauenbergkapelle	Extremniederschläge – Regen, Schnee und Hagel

Tabelle 3: Übersicht der Fallstudien mit relevanten Extremwetterereignissen

Aufbau des KERES-Expertengremiums

Teil des Projekts war der Aufbau eines interdisziplinären Expertengremiums, das die Themen Kulturerbe, Klimawandel und Katastrophenschutz abdeckt und Akteure aus verschiedenen Bereichen wie Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), Kulturerbeeinrichtungen, Wissenschaft und Forschung, Verbände, Behörden usw. zusammenbringt, um deren unterschiedliche Sichtweisen zu berücksichtigen. Durch den regelmäßigen und gezielten Austausch mit dem Expertengremium während der Projektlaufzeit wurde sichergestellt, dass sich die Projektarbeiten am Praxisbedarf orientierten und die Ergebnisse nutzergerecht aufbereitet wurden. Außerdem übernahm das Expertengremium bereits eine Vermittlungsfunktion bei der Verbreitung der Ergebnisse über den direkten Einflussbereich des Projekts hinaus.

In der Antragsphase haben bereits 18 Einrichtungen einen LOL unterschrieben, das Projekt KERES aktiv zu unterstützen. Innerhalb des ersten Jahres konnten 15 weitere Partner gewonnen werden, die dem Projekt als assoziierte Partner beitraten, darunter z. B. das Brand- und Katastrophenschutzamt Dresden, die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk und der Landesfeuerwehrverband Bayern, ICOMOS Deutschland, das Brandenburgische Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie sowie die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (vollständige Liste siehe Anhang 3).

weitere Details siehe Kapitel 3.9

Einbindung von Fallstudienpartnern und Expertengremium

Sowohl für die Fallstudienpartner als auch für das Expertengremium wurde jeweils ein Auftakttreffen veranstaltet, in dem die Ziele des Projekts besprochen, Ideen aufgenommen und die Zuarbeiten bzw. unterstützenden Arbeiten der assoziierten Partner festgelegt wurden. Im weiteren Projektverlauf hatten die Fallstudienpartner durchgehend direkten Kontakt mit den Projektpartnern, die für die Bearbeitung der Fallstudien verantwortlich waren. Fallstudienpartner und Expertengremium wurden zu regelmäßigen Treffen eingeladen, in denen die Entwicklungen des Projekts diskutiert und entsprechendes Feedback zur Weiterentwicklung eingeholt wurde. Für die einzelnen Arbeitspakete wurden themenspezifisch kleinere Workshops mit Fokusgruppen angesetzt und jeweils fachlich geeignete Vertreterinnen und Vertreter der assoziierten Partner eingeladen. Themenübergreifende Workshops wurden z. B. im Zusammenhang mit der Entwicklung der KERES-Ontologie und -Wissensplattform durchgeführt (siehe Kapitel 2.3). In einigen Arbeitspaketen gab es eine enge Zusammenarbeit mit einzelnen Partnern, z. B. mit der Bayerischen Schlösserverwaltung bei der Entwicklung der Laufkartensoftware WALKER (siehe Kapitel 2.3 und 3.7) und mit dem Freilandmuseum Bad Windsheim bei der Entwicklung des Fachwerkfassadenschutzsystems (siehe Kapitel 2.2 und 3.4).

Während des Projekts wurden zwei schriftliche Befragungen des Expertengremiums durchgeführt. Insbesondere wurden die bereits wahrgenommenen Risiken und Schäden durch Klimawandel und Extremwetterereignisse sowie die Erwartungen für die kommenden 30 Jahre abgefragt. Darüber hinaus wurde ermittelt, inwieweit diese Risiken von den Einrichtungen selbst und den zuständigen Behörden wahrgenommen werden und ggf. bereits in Notfallplänen berücksichtigt sind und ob es bereits eine Zusammenarbeit mit Rettungskräften gibt. In der ersten Befragung zu Beginn des Projekts (2021) wurde als Basis für die zu erstellenden Klimaprojektionen in AP1.1 abgefragt, welche Klimaparameter für welche Zeiträume in der Praxis benötigt werden. Für die Entwicklung und Anbindung der Wissensplattform wurden Fragen zum Datenmanagement und der verwendeten Verwaltungssoftware gestellt. Die zweite Befragung (2023) wurde zusätzlich für externe Teilnehmende freigeschaltet.

Exemplarisch werden hier einige Ergebnisse der Befragung 2023 vorgestellt (Basis: 40 Antworten):

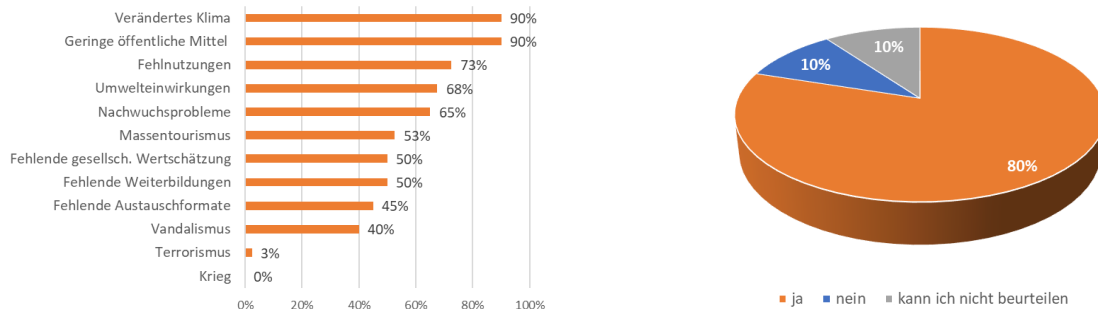


Abbildung 9: links: Aktuelle Herausforderungen im Kulturerbeschutz in Deutschland, rechts: Antworten auf die Frage, ob der Einfluss klimatischer Veränderungen in den Kulturerbestätten bereits erkennbar sei © Fraunhofer IMW

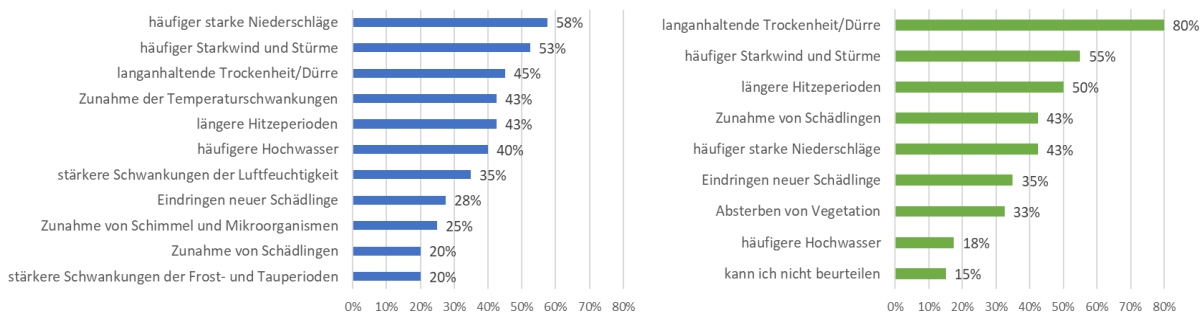


Abbildung 10: links: größte Risiken für gebautes Kulturerbe in Deutschland, rechts: größte Risiken für historische Gärten und Parkanlagen in Deutschland © Fraunhofer IMW

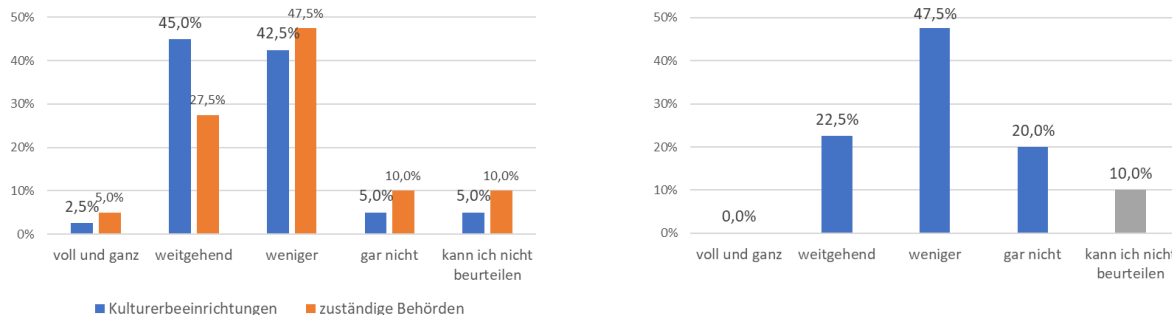


Abbildung 11: links: Wahrnehmung zukünftiger Auswirkungen des Klimawandels als Risiken; rechts: Berücksichtigung klimawandelbedingter Risiken in Vorsorgeplänen © Fraunhofer IMW

Optimierung der Organisations- und Kommunikationsstrukturen (AP4.3/Fraunhofer IMW)

Ergänzend zur Erarbeitung und Verbreitung der inhaltlichen Ergebnisse zum Schutz von Kulturerbe vor Extremwetterereignissen wurden in KERES auch die Organisations- und Kommunikationsstrukturen für Prävention und Notfallmanagement adressiert. Dazu wurden vorhandene Leitfäden und Erfahrungsberichte aus den Bereichen Notfallvorsorge für Kulturgüter sowie Risiko- und Katastrophenmanagement analysiert und dort aufgeführte relevante Rollen und Aufgaben in Übersichtsgrafiken zusammengestellt. Diese Strukturen wurden in mehreren Workshops und Einzelgesprächen mit Mitgliedern des KERES-Expertengremiums diskutiert und an Bedarf und Gegebenheiten in der Praxis angepasst.

Entstanden sind daraus drei Übersichtsgrafiken, die

- den Prozess zur Ausarbeitung der Notfallplanung,
- die Rollen und Aufgaben in der Notfallplanung sowie
- die Kooperation bei der Notfallbewältigung darstellen.

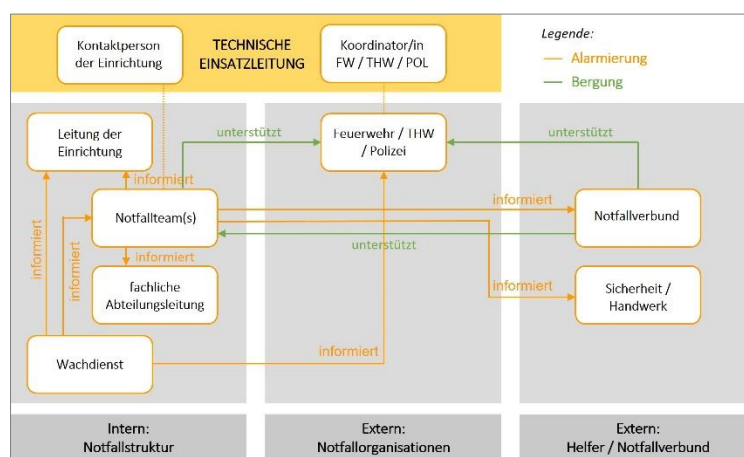


Abbildung 12: Organisationsstruktur für die Notfallbewältigung, eigene Darstellung in Anlehnung an Bauernfeind et al. 2012, Siegel et al. 2021 und KERES-Expert/innen-Workshop vom 26.06.2023
© Fraunhofer IMW

Die Grafiken wurden in die KERES-Wissensplattform integriert und im Rahmen eines erläuternden Kapitels in der KERES-Broschüre veröffentlicht. Sie sollen beim Aufbau einer Notfallstruktur bzw. bei der Optimierung bereits bestehender Notfallstrukturen in Kulturerbeeinrichtungen unterstützen.

weitere Details siehe KERES-Broschüre, Kapitel 5.2 „Organisations- und Kommunikationstrukturen für die Notfallplanung und -bewältigung“

2.5 Verbreitung und Verwertung

Präsentation des Projekts und Stakeholderkommunikation (AP5.1/Fraunhofer ISC, Fraunhofer IMW)

Medienpräsenz

Zum Projektstart wurden Informationen zu KERES auf Deutsch und Englisch auf Projektseiten und in Pressemitteilungen auf den Homepages der Partner veröffentlicht.

- Fraunhofer-Gesellschaft: Pressemitteilung (nicht mehr online)
- Fraunhofer ISC: Pressemitteilung [de/en](#) (auch beim Informationsdienst Wissenschaft [idw](#) und dem Deutschen [Klimaportal](#) veröffentlicht)
- Fraunhofer IZKK: Pressemitteilung [de](#)
- Fraunhofer IMW: Projektseite [de/en](#), Projektblatt [de/en](#), Pressemitteilung [de/en](#)
- Fraunhofer IOSB: Projektseite [de/en](#), Pressemitteilung [de/en](#)
- Fraunhofer IBP: Pressemitteilung [de/en](#)
- Hereon-GERICS: Projektseite [de/en](#), Pressemitteilung [de/en](#)

Außerdem ist das Projekt auf folgenden externen Webseiten gelistet:

- [klima.sachsen.de](#) des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft | Hilfsmittel und Tools | [Wissensplattform KERES](#)

- Smart City Inspiration weltweit des Research Center Smart Infrastructure der Universität Leipzig | [KERES](#)
- Notfallallianz Kultur | Angebote | [KERES](#)
- Klimafolgenanpassung des Deutschen Museumsbundes: [TIPPS](#)
- Fränkisches Freilandmuseum Bad Windsheim (Fallstudienpartner): [KERES](#)

Informationen über Projektinhalte, Fortschritte und Vorträge/Veranstaltungen wurden regelmäßig auf dem [Twitter/X-Kanal der Forschungsallianz Kulturerbe](#) sowie über LinkedIn, Facebook und andere Social Media-Kanäle der Partner bekanntgemacht.

Vorträge auf externen Veranstaltungen

Während der Projektlaufzeit wurden die Ansätze, Hintergründe und Ergebnisse von KERES in mehr als 30 Vorträgen auf externen Veranstaltungen im nationalen und internationalen Kontext vorgestellt (Liste siehe Anhang 1). Die Diskussionen zeigten deutlich, dass das Bewusstsein für die Problematik in weiten Teilen der Kulturerbegemeinschaft vorhanden und das Interesse an einer besseren Risikoabschätzung sowie der Bedarf an Lösungsansätzen für Schadensvermeidung, Notfallmanagement und Schadensbehebung groß sind.

Veröffentlichte Interviews

Das Projekt KERES wurde der Öffentlichkeit in 7 Interviews verschiedener Medien vorgestellt:

- 26.12.2020 „Klimawandel und Kulturerbe: Kein Bewusstsein für die Gefahren“, Interview mit Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Deutschlandfunk Kultur, [Link](#)
- 08.01.2021 „Forschungsprojekt KERES. Kulturgüter im Klimawandel: Wir werden nicht alles erhalten können“, Interview mit Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, MDR Kultur – Das Radio (nicht mehr online)
- 01.04.2021 „Fünf Fragen zum Thema Klima und Baukultur an Johanna Leissner“, Interview mit Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Heimat Westfalen
- 29.07.2021 „Wir werden nicht das gesamte Kulturerbe erhalten können“, Interview mit Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Monopol. Magazin für Kunst und Leben, [Link](#)
- 28.09.2021 „Schäden an Kulturgütern durch das Klima“, Interview mit Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, WDR (nicht mehr online)
- 25.01.2022 „So kämpft die Schlösserstiftung gegen die Folgen des Klimawandels“, Interview mit Prof. Dr. Michael Rohde, SPSG, Potsdamer Neueste Nachrichten, [Link](#)
- 01.04.2022 „Wir werfen einen Blick in die Zukunft“, Interview mit Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Denkmal Information Bayern Nr. 177, S. 52-53 [Link](#)

Artikel und Pressemeldungen externer Autor:innen

Neben den oben genannten veröffentlichten Interviews bzw. interviewbasierten Artikeln sind während der Projektlaufzeit mindestens weitere 40 Artikel und Pressemitteilungen zu KERES veröffentlicht worden (Liste siehe Anhang 2).

Öffentliche Veranstaltungen des Projekts

Um die Ansätze und Ergebnisse des Projekts in der Kulturerbegemeinschaft und in den verschiedenen, für den Kulturerbeschutz relevanten Disziplinen bekannt zu machen und zu diskutieren, wurden zwei große öffentliche Veranstaltungen durchgeführt:

- 28.10.2021 öffentlicher Workshop „Auswirkungen des Klimawandels auf Kulturerbe“, geplant im Chilehaus Hamburg, aufgrund von Corona-Beschränkungen online abgehalten, 79 Teilnehmende
- 18.10.2023 öffentliche Abschlussveranstaltung im Park Sanssouci, Potsdam, 64 Teilnehmende

Die Programme beider Veranstaltungen finden sich in den Anhängen 4 und 5.

Eigene Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projekts wurden 5 Artikel in Fachzeitschriften veröffentlicht, davon 2 peer reviewed und open access, außerdem ein Buchkapitel (siehe Kapitel 5.2). Zum Abschluss des Projekts wurde eine Broschüre mit den Ergebnissen veröffentlicht (siehe Kapitel 5.1).

Climate Fact Sheets (Hereon-GERICS)

Das Konzept der „Climate Fact Sheets“ für Kulturerbestätten wurde im Rahmen des Projekts KERES weiterentwickelt. Dabei wurde Stakeholder-Feedback berücksichtigt, um die nutzerspezifischen Inhalte besser aufzubereiten und zu vermitteln. Die Climate Fact Sheets stellen die entsprechenden Klimainformationen für die im Projekt ausgewählten Fallstudien in verschiedenen Klimazonen Deutschlands in übersichtlicher und verständlicher Form bereit. Hierzu wurden die ausgewählten Parameter für Extremwetterereignisse im KERES-Konsortium abgestimmt und aufbereitet:

- je eine Kurzversion in Faltblattform, die einen Überblick über die größten klimawandelbedingten Risiken und deren Folgen für das Fallstudienobjekt gibt, und
- je eine ausführliche Version, in der die fallstudienbezogenen Zukunftsprojektionen verschiedener Kennwerte detailliert dargestellt und erläutert werden.

Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass die Ergebnisse zwischen den Regionen vergleichbar sind. Die projizierten Änderungen der Extremklimaereignisse, die in den CFS dargestellt sind, basieren auf Klimaprojektionen, die im AP1 erstellt wurden. Die Klimaprojektionen in den CFS beruhen auf den RCP8.5 repräsentiert ein Szenario mit hohen Emissionen und ohne Klimaschutz (Details siehe Kapitel 3.10).

Klimasteckbriefe (Fraunhofer IBP)

Aus den Ergebnissen der Vulnerabilitätsuntersuchungen wurde zusätzlich für die Fallstudie Fränkisches Freilandmuseum Bad Windsheim ein Klimasteckbrief erstellt, der eine Übersicht über die objektbezogenen Gegebenheiten hinsichtlich Materialität, Vulnerabilität, Wartung und Erhaltung, Prävention, reaktive Schutzmaßnahmen sowie Handlungsempfehlungen enthält (siehe Kapitel 3.10).

Themenportal Klimawandel und Kulturerbe (Fraunhofer IMW)

Im Rahmen des Projekts wurde für den Klimanavigator, ein nationales Netzwerk und Internetportal für Klimainformationen mit ca. 60 Partnerinstitutionen, koordiniert von Hereon-GERICS, ein eigenes [Themenportal „Klimawandel und Kulturerbe“](#) erarbeitet. Dieses Themenportal adressiert die auch im Projekt KERES relevanten Themen Vulnerabilität, Prävention, Notfallmanagement, Klimaschutz, Aus- und Weiterbildung sowie Bewusstseinsbildung und stellt jeweils eine kurze Einführung und eine Sammlung weiterführender Literatur, wichtiger Akteure und Projekte zur Verfügung. Ziel ist die Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit, gleichzeitig wurde durch die interne Diskussion Kulturerbe auch bei den Portalpartnern als wichtiges Thema etabliert.

Aus- und Weiterbildung (AP5.2/Fraunhofer IBP)

Als Teil der Verbreitung von Wissen wurden im Projekt KERES in enger Zusammenarbeit mit der Firma für Restaurierungsberatung YCONIC neue Formate für kulturelle Einrichtungen entwickelt, um das Bewusstsein für Risiken durch Extremwetterereignisse zu schärfen und Prozesse in Gang zu setzen für Prävention und Anpassung. Diese Formate bauen auf dem Konzept von sog. Notfallplanspielen auf, bei denen bestimmte Gefahrenlagen hypothetisch mit verteilten Rollen durchgespielt werden. Daraus entwickelt hat sich das Konzept „Zukunftswerkstatt“, bei dem es darum geht, die Perspektive einer Liegenschaft in naher bis mittlerer Zukunft einzunehmen und zu überlegen, wie ein bestimmter, positiver Zustand erreicht werden kann. Dieses Konzept wurde in zwei intensiven Workshops in

Halberstadt und in Bad Windsheim am Fränkischen Freilandmuseum mit zahlreichen Akteurinnen und Akteuren aus der Welt der Museen und Freilichtmuseen erfolgreich erstmalig durchgeführt.

Entwicklung des Umsetzungsmodells (AP5.3/Fraunhofer IMW)

Zur Entwicklung eines Umsetzungsmodells, das der nachhaltigen Pflege und Weiterentwicklung der Wissensplattform nach Projektende dient, wurden in der Entwicklungsphase begleitend die Bedarfe potentieller Nutzer:innen abgefragt und Praxistests durchgeführt. Parallel dazu entstand eine erste Kostenaufstellung, die als Basis für die Ermittlung des Finanzierungsbedarfs der dauerhaft notwendigen Unterhalts- und Aktualisierungsarbeiten diente. Parallel dazu wurde eine Shortlist passender Betreiber erstellt. Zentral für die Auswahl waren dabei die Einbindung in bestehende Strukturen der Kulturerbe-Gemeinschaft, fachliche Kompetenz und eine eher inhaltlich und weniger kommerzielle Motivation, um zu erreichen, dass die Wissensplattform perspektivisch möglichst vielen Kulturerbeeinrichtungen deutschlandweit zur Verfügung steht.

3. Wesentliche Ergebnisse und Ausblick

Das KERES-Projekt ist in erster Linie ein Forschungsprojekt. Jedoch ist ein intensiver Austausch zwischen verschiedenen Akteuren in Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Verwaltung erforderlich, um den Auswirkungen des Extremwetters entgegenzuwirken. Das Projekt hat eine Vielzahl von Akteuren aus dem Kultursektor vereint und somit ein sektorübergreifendes Netzwerk geschaffen. Kapitel 3 bietet eine Übersicht über die konkreten Projektergebnisse und deren weitere Verwertung.

3.1 Zukünftige Projektionen zur regionalen Relevanz von Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen (AP1/Hereon-GERICS)

Der Einfluss von meteorologischen und hydrologischen Extremereignissen auf Kulturgüter wurde erfasst, um die (regionalen) Auswirkungen des Klimawandels auf das Kulturerbe besser zu verstehen. Dazu wurden aussagekräftige Informationen zu den wichtigsten physikalischen Klimaantriebskräften und Extremen aufbereitet. Zukünftige Projektionen von Extremwetterereignissen für jede Fallstudie wurden zusammengestellt und in die Wissensplattform integriert. Die Arbeit von Hereon-GERICS wurde durch die Unterstützung von Fallstudien begleitet. Mit der Erstellung der hochauflösenden regionalen Klimaprojektionen im Projekt KERES wurden räumlich detaillierte Klimadaten als Grundlage für maßgeschneiderte Informationsprodukte generiert. Das Projekt KERES hat maßgeblich dazu beigetragen, die Qualität der Informationen für den Kulturerbesektor enorm zu verbessern. Die angestrebten wissenschaftlichen Ergebnisse wurden in verschiedenen Artikeln veröffentlicht und auf renommierten Konferenzen vorgestellt (siehe Kapitel 5.2 und Anhang 1). Die Arbeiten von Hereon-GERICS in KERES dienen somit dem allgemeinen wissenschaftlichen Fortschritt.

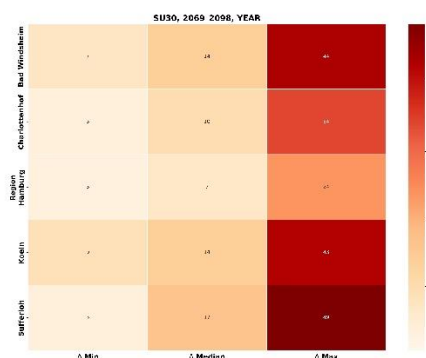


Abbildung 13: Projizierte Änderung der Anzahl der heißen Tage mit einer Tagesmaximumtemperatur über 30°C 2069-2098 relativ zu 1971-2000 für alle KERES-Fallstudien

Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit des Projekts ist durch die wirksame Kommunikation der Projektergebnisse in andere Bereiche der wissenschaftlichen Forschung und in die Anwendung in der wirtschaftlichen Praxis gegeben. Ein wirksames Instrument hierfür ist die Erstellung von Klimadaten für die Fallstudien. Diese ermöglichen eine effektive Weitergabe entscheidungsrelevanter Klimainformationen an die Nutzer und Praxisakteure.

3.2 Maßnahmenkatalog zum Schutz und zur Anpassung regionaltypischer Bauweisen und Gebäudetypen aus den Fallstudien (AP1+2/IBP)

Eine erhöhte Hitzebeanspruchung in Räumen wirkt sich negativ auf die menschliche Behaglichkeit aus und kann besonders für ältere Menschen gesundheitliche Schäden (Hitzeschlag) bis hin zum Tod haben. Zudem führt sie auch zu Schäden an den dort gelagerten Kunstgegenständen durch Hitzeeinwirkung und in der Folge Trockenheit, die sogar eine Schließung des Gebäudes erforderlich machen können (z. B. 2017 Uffizien Florenz). Schlagregenbeanspruchung führt zu einer erhöhten Durchfeuchtung von Gebäudebauteilen, was zu vielfältigen Schadensformen (z. B. Frost, Ausblühungen, Wachstum bauschädigender Pilze und Insekten etc.) führt, die wiederum Sicherheitsrisiken sowohl für die Gebäude wie für Menschen darstellen. Gerade Fachwerkhäuser sind dafür anfällig.

Auf Grundlage einer systematischen Literatur-, Projekt- und Produktrecherche wurden für die beiden Schadenslagen „Hitze“ und „Schlagregen“ die relevanten Einflussfaktoren, Bewertungsmöglichkeiten sowie zugehörige Maßnahmen zusammengestellt. Der Katalog umfasst sowohl bauliche als auch anlagentechnische Maßnahmen inklusive einer Auflistung der Vor- und Nachteile sowie zu beachtender Problemstellungen bei der Anwendung. Darüber hinaus konnte durch die umfangreiche Anamnese der Fachwerkgebäude in Bad Windsheim und die während des Projektverlaufs dort aufgetretenen Schadensfälle noch weitere Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für zusätzliche Schadenslagen, wie zum Beispiel Hochwasser, aufgenommen werden.

Der Katalog wurde auf die Fallstudien Charlottenhof und Bad Windsheim angewandt, um gemäß den Schadenslagen geeignete Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren. Um eine Verallgemeinerung der Maßnahmen über die Fallstudien hinaus zu ermöglichen, wurden regionaltypische Bauweisen und repräsentative Gebäude- und Nutzungsszenarien recherchiert. Mit Hilfe hygrothermischer Gebäudesimulationen wurden diese im Rahmen einer systematischen Parameterstudie hinsichtlich zu erwartender künftiger Schadenslagen sowie der Wirksamkeit der katalogisierten Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz bewertet.

3.3 Maßnahmenkatalog zum Schutz und zur Anpassung historischer Gärten und Parkanlagen aus den Fallstudien (AP1+2/SPSG)

Die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen wurde analog zu den Vorarbeiten in Maßnahmen für den Erhalt der Wege sowie Maßnahmen zur Sicherung des Baumbestandes unterteilt. Die Vulnerabilität der historischen Gärten gegenüber den Auswirkungen der Klimaveränderungen wie in Kapitel 2.1 beschrieben gibt deutliche Hinweise darauf, welche Handlungsfelder im Fokus stehen: Die Erhöhung der Stabilität der wassergebundenen Wege bei Starkregenereignissen, die Erhöhung der Resistenz der Bäume gegenüber Trockenheit, Hitze und Stürmen sowie der Aufbau und langfristige Erhalt eines resilienten Gehölzbestandes. Um die Auswirkungen von Extremwetterereignissen abzuschwächen, werden die bereits in Kapitel 2.2 erwähnten Maßnahmen zu Schutz und Anpassung von Gehölzen und Wegen durchgeführt. Darüber hinaus wird angesichts der seit 2018 messbaren Wasserknappheit an einer umfassenden Optimierung des Wassermanagements gearbeitet. Hierzu gehören ressourcenschonende Bewässerungsmethoden und -techniken, aber auch die Verbesserung des Wasserrückhalts und die Prüfung alternativer Wasserquellen. Die SPSG versorgt ihre Anlagen zum überwiegenden Teil mit dem Wasser der Havel, in den vergangenen Jahren gab es immer wieder Einschränkungen der Wasserentnahme während der heißen Sommermonate.

Die bisherigen Praktiken und Strategien wurden im KERES-Projekt betrachtet und unter den zukünftigen Anforderungen neu bewertet. Innovative Ansätze wurden initiiert, erprobt und in Teilen bereits analysiert. Eine abschließende Bewertung der Anpassungsmaßnahmen für Gehölze war im Rahmen der Projektlaufzeit noch nicht möglich, da bei Bäumen anders als bei gebauten Elementen, eine längere Reaktionszeit eingeplant werden muss. Speziell für die Pflanzungen auf den Entwicklungsflächen ist nach frühestens fünf Jahren mit validen Ergebnissen zu rechnen, hinsichtlich der Revitalisierung von Altbäumen lassen sich zumindest Trends in der Wirksamkeit erkennen. Dennoch wurden sämtliche Schutz- und Anpassungsmaßnahmen, die im Rahmen des KERES-Projektes untersucht wurden, katalogisiert. Betrachtet werden dabei sowohl der Erhalt des Kulturgutes als auch der Schutz von Besuchenden und Personal. Da die SPSG grundsätzlich für die Herstellung der Verkehrssicherung in ihren Anlagen zuständig ist, gibt es hier bereits bewährte Prozesse, die in akuten Schadenslagen wie einem Sturmereignis greifen. Dazu gehören auch Sperrungen von Teilbereichen, wenn notwendig auch ganzer Parkanlagen. Die Beseitigung von Totholz und die Wiederherstellung von Wegen, um ein gefahrloses Betreten zu ermöglichen, sind weitere Schritte, die durchgeführt werden, bevor ein Areal wieder für die Öffentlichkeit freigegeben wird.

Das Auftreten von extremen Wetterereignissen ist kein neues Phänomen, neu ist jedoch die Häufigkeit, mit der die Ereignisse eintreten. Im Sinne der Nachhaltigkeit werden bisher angewandte Strategien deshalb geprüft und ggf. optimiert und erweitert. Ebenso wird nach neuen Ansätzen gesucht, die in der Praxis erprobt und durch ein Monitoring begleitet werden. Hier sind die bereits erwähnten Entwicklungsflächen zu nennen, auf denen unterschiedliche Strategien für die Anzucht resilienter Bäume getestet werden. Im Rahmen des KERES-Projektes konnte ein Konzept für die Erprobung von Nachpflanzungen auf acht Flächen in den Parkanlagen Sanssouci und Babelsberg erarbeitet und umgesetzt werden. Die Flächen wurden vorbereitet und bepflanzt, je nach Konzept wurden die Pflanzungen gewässert und gepflegt. Bei der Entwicklung des Monitorings für die Dokumentation und Analyse wurde im Austausch mit den Anwenderinnen und Anwendern daran gearbeitet, ein einfaches Werkzeug zu generieren, das sich mit möglichst geringem Aufwand in die notwendigen gärtnerischen Tätigkeiten einbinden lässt. Die Vorarbeiten waren relativ aufwendig, da mehrere hundert Pflanzen einer Fläche digital erfasst und verortet werden mussten. Das Monitoring wurde daher exemplarisch für eine Fläche im Park Babelsberg erstellt. Im Ergebnis entstand eine Excel-Tabelle mit Angaben zur Entwicklung der Pflanzen, die für die jährliche Begehung über Tablets aufgerufen werden kann. Das Monitoring soll für die anderen Entwicklungsflächen angepasst werden, denn auch nach Projektende werden die Flächen weiter betreut und beobachtet. Sofern die personellen Kapazitäten es erlauben,

sollen weitere Flächen zur Gehölzentwicklung ausgewiesen werden. Die Erkenntnisse, die in den Gärten Sanssouci und Babelsberg gewonnen werden, können auf andere historische Anlagen übertragen werden, die mit vergleichbaren Herausforderungen zu kämpfen haben.



Abbildung 14: Auf einer Entwicklungsfläche im Park Babelsberg werden rund 250 Gehölze im Raster gepflanzt. Die Pflanzen stammen zum Teil aus einer regionalen Forstbaumschule, zum Teil aus Eigenwerbung. © SPSG

3.4 Fachwerkfassadenschutzsystem (AP1+2/IBP)

Bei den Untersuchungen im Freilandmuseum Bad Windsheim zeigten sich massive Schäden an bestehenden verputzten Fachwerkfassaden bzw. an den schlagregenbelasteten Fachwerkwänden als Folge extremer Wetterereignisse. Nach den Erkenntnissen aus den durchgeführten Untersuchungen versagen die bisherigen Ausführungen von verputzten Fachwerkwänden regelmäßig nach wenigen Jahren. Extreme Klimaereignisse beschleunigen die Schadensprozesse erheblich und führen dann, nach ersten anfänglichen Vorschädigungen an der Fassade, zu massiven Schäden an den betroffenen Fachwerkwänden und wegen erhöhter Feuchte in der Folge auch an der Inneneinrichtung. Aus dem mit den Verantwortlichen des Freilandmuseums identifizierten Bedarf für eine resilientes Fassadenschutzsystem, das die Fachwerkwand dauerhaft vor extremen Schlagregenereignissen schützt, wurden Lösungsvorschläge erarbeitet und erste erfolgversprechende Überlegungen und Versuche für ein innovatives Fassadenschutzsystem in der Freilandversuchsfläche am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen durchgeführt. Aus den daraus abgeleiteten Erkenntnissen wurde ein Demonstrator für ein Fachwerkfassadenschutzsystem entwickelt mit dem Ziel, die Resilienz der wertvollen historischen Bauten zu erhöhen. Dadurch sollen der Verlust an originaler Bausubstanz und Inneneinrichtung minimiert und das Instandsetzungsintervall deutlich verlängert werden.

3.5 Risikokarten für Fallstudien aus hygrothermischer Gebäudesimulation und Stadtklimasimulation (AP1+2/IBP)

Neben der Untersuchung von Baudenkmalern und Schadensfällen an deren Bausubstanz und dem Gebäudeinnenraum beschäftigte sich das KERES-Projekt auch mit Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf das Gebäudeumfeld sowie die historischen Gärten und Parkanlagen. Konkret wurden dabei die Auswirkungen von extremen Hitzeperioden sowie Sturmereignissen mit Hilfe dreidimensionaler Mikroklima-Simulationsmodelle für die zwei Fallstudien Sanssouci sowie Kölner Dom untersucht. Für die Modellierungen wurde das im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ entwickelte Stadtklimamodell PALM-4U eingesetzt.

Die Hitzebelastung in Außenräumen wurde mit PALM-4U für zwei Fallstudien untersucht: für den Schlosspark Sanssouci in Potsdam sowie für die Kölner Innenstadt, um dort die Hitzebelastung im

nahen Umfeld der Fallstudie Kölner Dom zu bewerten. Dabei wurden für beide Fallstudien Hitzebelastungskarten am Tag und in der Nacht erstellt und die Veränderungen über die drei in KERES betrachteten Zeitperioden bewertet (Referenzperiode 1971-2000, Mitte des 21. Jahrhunderts 2036-2065 und Ende des 21. Jahrhunderts 2069-2098).

Im Rahmen des KERES-Projekts wurde eine Methodik entwickelt, mit der Extremwindereignisse mit PALM-4U simuliert und aus den Ergebnissen lokale Gebiete mit hoher Windgefährdung identifiziert werden konnten. Eine Besonderheit des verwendeten Modells PALM-4U ist, dass es die Simulationstechnik LES (Large-Eddy-Simulation) nutzt, welche die Turbulenz der Windströmung und somit auch die dabei auftretenden Böen und Verwirbelungen direkt simuliert und es so ermöglicht, diese gerade für die Gefährdungsbewertung durch Wind besonders relevanten Strömungsparameter auszuwerten. Die Untersuchung von Sturmschäden wurde für zwei KERES-Fallstudien durchgeführt: Für den Schlosspark Sanssouci wurde die Auswirkung eines extremen Sturmereignisses auf den Baumbestand untersucht, woraus sich eine Karte mit Schädigungspotentialen für die Bäume des historischen Gartens ableiten ließ (siehe Abbildung 15). Für die Fallstudie Kölner Dom wurden Simulationen zur Windumströmung des Gebäudes und der umliegenden Bebauung durchgeführt. Fragestellungen waren dabei zum einen Ursachen für auftretende Abwinde an der Domfassade und dem Roncalliplatz zu identifizieren und zum anderen einen Zusammenhang zwischen lokal auftretender Steinverwitterung in Form von Alveolenbildung und den gebäudenahen Windfeldern zu untersuchen. Aus den Simulationsergebnissen konnte eine Kartierung von Orten mit hoher Windbelastung an der Fassade und Anströmrichtungen mit starken Abwinden identifiziert werden.

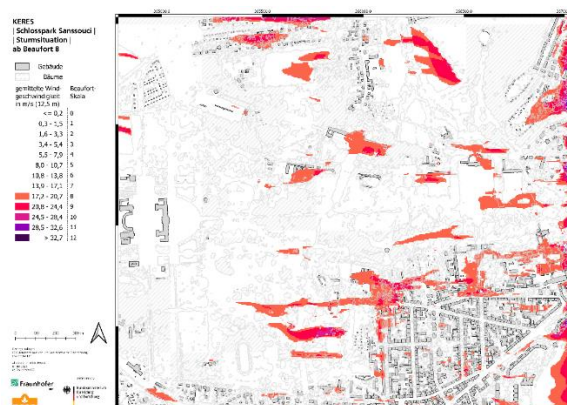


Abbildung 15: Risikokarte des Schlossparks Sanssouci mit Darstellung der Gebäude und Bäume (grau hinterlegt) sowie Überlagerung von Windgeschwindigkeiten mit Gefährdungspotential, repräsentiert durch Beaufort-Grad 8 oder höher © Fraunhofer IBP

3.6 KERES-Ontologie und Wissensplattform (AP3/IOSB)

Die KERES-Wissensplattform versteht sich als Drehpunkt des Projektes KERES, in die alle verfügbaren und relevanten Informationen integriert werden können. Sie ist als Webanwendung realisiert und im Internet unter der URL <https://keres.k3s.ilt-dmz.iosb.fraunhofer.de/> erreichbar. Die Anwendung wurde modular entwickelt, so dass einzelne Komponenten zur Verwertung verwendet werden können und in sich unabhängig sind (siehe Abbildung 16). Die Anwendung wurde in der Publikation *IT support for climate resilient cultural heritage-examples from the KERES project* von Moßgraber et al. wissenschaftlich aufbereitet.



Bilder- Fallstudien (Suche) KERES+Fallstudien-Ontologie- Mobile Anwendung Dürremonitor- Fallstudien- Maßnahmenfinder Expertengremium

Laufkartenerstellung- Datenschutzerklärung Impressum

Anmelden

Das KERES-Projekt

Herzlich willkommen auf der Wissensplattform zum Projekt KERES.

Die Bewertung der Kritikalität und Vulnerabilität historischer Bauten, Sammlungen wie auch historischer Park- und Gartenanlagen in Hinblick auf Extremwetterereignisse ist eine stark interdisziplinäre Aufgabe, die die Zusammenarbeit von Historikern, Meteorologen, Denkmalpflegern, Restauratoren und Ingenieuren erfordert. Auf dieser Plattform wollen wir alle Informationen, die in unserem Projekt anfallen erklären und verständlich aufbereiten.

Für das Vorhaben KERES können die Forschenden auf zwei vorangegangenen EU-Projekten aufbauen – Climate for Culture und Heracles – die sich beide mit den **Wirkungen des globalen Klimawandels auf das kulturelle Erbe** auseinandergesetzt haben. Der Fokus in dem neuen Vorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wird auf die Zunahme von Extremklimaereignissen in Deutschland gelegt: Länger anhaltende Hitzewellen gepaart mit extremer Trockenheit, orkanartige Stürme, simultantartige Regenfälle, Zunahme der Temperaturschwankungen und Meeresspiegelanstieg. Diese Ereignisse werden wesentlich öfter auftreten und damit auch die Schäden an Kulturgütern, die deshalb eines besonderen Schutzes bedürfen, um sie für nachfolgende Generationen zu erhalten. Im Vordergrund stehen dabei **historische Gebäude und Monumente** sowie die von Menschen gestalteten **historischen Gärten und Kulturlandschaften** mit ihren einzigartigen Sammlungen von Nutz- und Zierpflanzen.

Inhalte

keres-case-studies.owl
(830,38 KB)

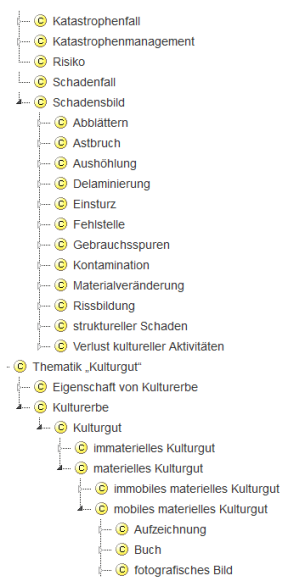
Alle Dateien herunterladen

Klimamodelle Ontologie Maßnahmenfinder Fallstudien Expertengremium

Bilder
Fallstudien (Suche)
KERES Fallstudien-Ontologie Die KERES Fallstudien-Ontologie.
Mobile Anwendung
UFZ-Dürremonitor
Die KERES-Fallstudien
Maßnahmenfinder
Das Expertengremium
Laufkartenerstellung mit Walker
Internet-Datenschutzerklärung
Impressum

↑ Top | Drucken | Impressum | Datenschutzerklärung

Abbildung 16: Einstiegsseite der KERES-Plattform



Die KERES-Ontologie bildet das Rückgrat der Wissensplattform und strukturiert alle verfügbaren Informationen. Darauf basierend ergibt sich ein navigierbares Wissensnetzwerk, wodurch alle relevanten Einträge zu einem Themenkomplex miteinander verbunden sind. Der Einstieg in die Ontologie ist möglich über eine strukturierte inhaltliche Aufschlüsselung der Themengebiete wie in Abbildung 17 dargestellt. Die Forschungsergebnisse zur Ontologie wurden in der Publikation Reuter et al., *The KERES Ontology: Protecting Cultural Heritage from Extreme Climate Events* veröffentlicht.

Abbildung 17: Ein Ausschnitt der KERES-Ontologie

Da sich im Laufe des Projektes diese Ansicht als zu technisch herausgestellt hat, hat das Fraunhofer IOSB die Anwendung FINDER entwickelt und in die Wissensplattform integriert (siehe Abbildung 18). Anhand dieser Anwendung können Nutzer ihren Wissensbedarf kategorisieren und erhalten so Vorschläge zu Einträgen auf der Plattform, die sie interessieren könnten.

Der Aktionsfinder für Kulturgüter

Sie möchten ein bedrohtes Kulturgut schützen, die Auswirkungen eines Schadens mindern oder einen Schaden am Kulturgut bewältigen?

Abbildung 18: FINDER – eine Anwendung zur Navigation der KERES-Ontologie

Nach Auswahl eines Eintrags erhält der Nutzer eine Ansicht mit Verweisen auf alle weiterführenden Informationen, die zu diesem Eintrag vorhanden sind. So ist es beispielsweise möglich von einer Fallstudie zu allen Sensoren zu springen, die diese Fallstudie überwachen, wie den im Park Sanssouci ausgebrachten Sensoren. Genauso ist es möglich die Stakeholder einer Fallstudie zu durchsuchen, um die entsprechenden Experten für ein Kulturgut oder ein Sicherheitsthema herauszufinden.

Schloss Charlottenhof

Südwestlich von Schloss Sanssouci liegt das kleine, im klassizistischen Stil erbaute Schloss Charlottenhof. Es bildet den architektonischen Mittelpunkt einer Gartenanlage, die den Park Sanssouci ab 1826 erweiterte.

Der Kronprinz und spätere König Friedrich Wilhelm IV. hatte das barocke Gutshaus 1825 von seinem Vater als Weihnachtsgeschenk erhalten. Er beauftragte den Architekten Karl Friedrich Schinkel und den Gartengestalter Peter Joseph Lenné, das Anwesen umzugestalten. Es entstand der Glanzpunkt ihres Wirkens: Ein Gesamtkunstwerk aus Architektur und Landschaft.

In seiner schlichten Formensprache ist das Schloss vom Geist der Antike durchdrungen und von römischen Villenbauten beeinflusst. Beeindruckt von den Ausgrabungen in Pompeji und Herculaneum folgte Schinkel dem Beispiel der Wandgestaltung in diesen antiken Häusern wohlhabender Bürger. Dem entspricht auch die biedermeierliche Gestaltung der bürgerlich anmutenden Innenräume, deren Mobiliar Schinkel größtenteils selbst entwarf. Bemerkenswert ist die bunte Vielfalt der Räume in Bezug auf Material und Farbe.

Der halbrunde Erker an der Nordseite, der Wasserlauf der Brunnenanlage durch das Haus hindurch, Portiken, Pergolen, Terrasse und Exedra vermitteln zwischen Innen- und Außenraum. Das berühmte blau-weiß gestreifte Eckzimmer trieb diesen Gedanken auf die Spitze. Es ist dem Inneren eines Zeltes nachgebildet.

Schloss und Park Charlottenhof werden zu Recht als Herzstück des preußischen Arkadiens bezeichnet.

<https://www.spsg.de/schloesser-gaerten/objekt/schloss-charlottenhof/>



Hinweis: Es handelt sich um ein unbeheiztes Gebäude mit hohem Außenluftwechsel.

Abbildung 19: Ein Eintrag der Wissensplattform

Die Einträge der einzelnen Fallstudien bereiten die verfügbaren Informationen mit adäquaten Visualisierungen auf. So wurden erhobene Sensordaten beispielsweise mit einer Karte verfügbar gemacht, die die Position und Zeitverläufe der erhobenen Daten darstellen (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Kartendarstellung mit ausgebrachter Sensorik in Potsdam

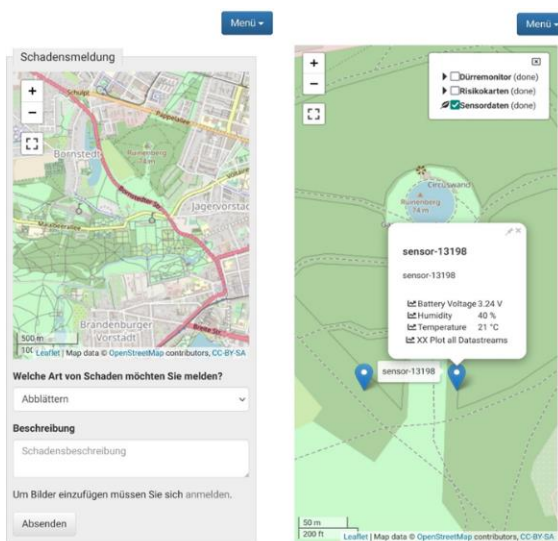


Abbildung 21: Mobile Ansichten der Wissensplattform

Um die Zugänglichkeit weiter zu verbessern, wurden Darstellungen für mobile Endgeräte entwickelt, mithilfe derer dieselben Informationen abgerufen werden können. Weiterhin ermöglichen diese Darstellungen die Erhebung von Schäden aus dem Feld heraus und deren Erfassung in der Wissensplattform (siehe Abbildung 21).

3.7 WALKER – Software zur Erstellung von Laufkarten für die Evakuierung von Kulturgütern in Krisenszenarien (AP3/IOSB)

Im Laufe des Projekts hat sich im Gespräch mit Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben herausgestellt, dass die Entwicklung weiterer mobiler Anwendungen für den Katastrophenschutz nicht die Lösung ist, die den Kulturgütereinrichtungen die größtmögliche Verbesserung ihrer Resilienz gegenüber Katastrophen bietet.

Es sei viel wichtiger niederschwellige Angebote zu schaffen, die gut mit den bisherigen Arbeitsprozessen der Sicherheitskräfte harmonieren. Es wurde vorgeschlagen, die Laufkarten der Feuerwehr des Landkreises München zur Evakuierung von Kunstgegenständen aus Kulturgütern zu verbreiten und zu verbessern. Daraufhin hat das Fraunhofer IOSB ab November 2021 die Entwicklung WALKER angestoßen, einer Software zur Erstellung von Laufkarten für den Katastrophenschutz in Kulturgütern. Die erstellten Laufkarten greifen das Format der Feuerwehr des Landkreises München auf und entsprechen damit dem standardisierten Format der Feuerwehr. Diese Laufkarten wurden bereits für viele Liegenschaften in Bayern erstellt und sind schon erprobt worden. Eine Laufkarte wird in Abbildung 22 dargestellt.

TI <small>Test-Objekt</small>		TI	Erstellt 09.08.2023 Stand 09.08.2023 Ersteller Walker	Besonders bedeutendes Kulturgut	
Ort Test Castle	Objekt/Gebäude Gate House	Gebäudetyp/Bauart 15-V	Etage II	Raumnummer II-1.3	
Objekt: Test-Object 		Personen 1 Gewicht 1 kg Maße 40 x 40 x 70 cm Höhe über Boden 78 cm Zwischenlagerung Emergency Depot Verbringungsort City Archive			
Werkzeuge / Demontage / Handling 		Verbringungsart			
<small>Notfallnummer 456</small>		<small>Inventarnummer 456-456</small>			

Die Forschungsergebnisse zum Einsatz der Anwendung wurden auf der Konferenz *Information Systems for Crisis Response And Management 2024* unter dem Titel *Introducing WALKER – Safeguarding Cultural Heritage through Evacuation Run Maps* veröffentlicht.

Abbildung 22: Beispielhafte Kulturgutschutzlaufkarte

3.8 RESKUE – Mobile Anwendung zur Koordinierung von Freiwilligenhelfern (AP3/IOSB)

Das Fraunhofer IOSB hat im Projekt den Einsatz einer mobilen Anwendung zur Koordinierung von Freiwilligenhelfern entwickelt und deren möglichen Einsatz erforscht. Die Anwendung *RESKUE* soll die Verwaltung von Kulturgütern ermöglichen und Nutzern die Aufgabe zur Evakuierung eines Objekts aus einem gefährdeten Gebäude im Notfall zuordnen. Die Anwendung wurde durch Sicherheitsexperten kritisiert und ein Einsatz als unrealistisch beurteilt, da der Einsatz von Spontanhelfenden in gefährlichen Szenarien als unsicher beurteilt und die Gefahr der unabsichtlichen Beschädigung von Objekten als zu groß angesehen wurde. In Abbildung 23 werden Teile der Anwendung dargestellt.

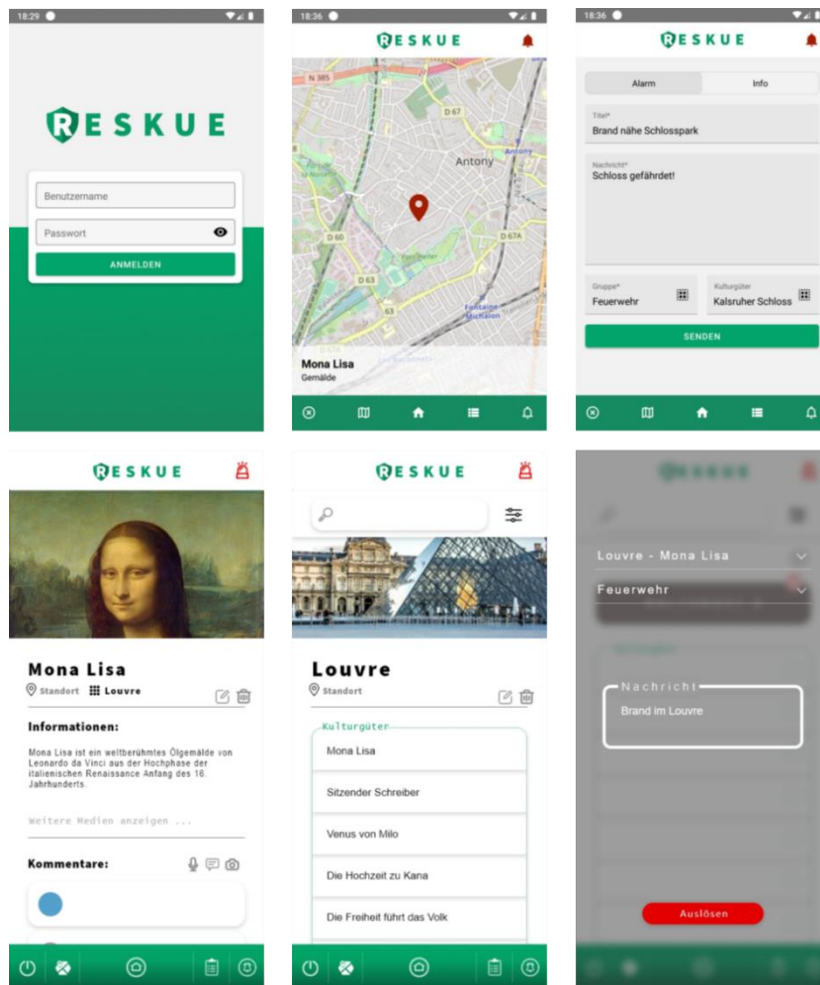


Abbildung 23: Die mobile Anwendung RESKUE

3.9 Deutschlandweites Expertengremium (AP4/IMW, ISC)

Aus dem Projekt ist ein deutschlandweites Expertengremium mit 33 Partner zum Thema Kulturerbeschutz im Kontext des Klimawandels hervorgegangen. Im Gremium vertreten sind:

- Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS),
- Kulturerbeeinrichtungen,
- Wissenschaft und Forschung,
- Verbände, Behörden u. ä.

Neben Feuerwehr und Katastrophenschutz (THW) vertritt das Gremium eine vielfältige Expertise. Es umfasst u. a. Landesministerien, Botanische und historische Gärten, Museen, Landesdenkmalämter, Kulturstiftungen und ICOMOS Deutschland (International Council on Monuments and Sites), DGKS (Deutsche Gesellschaft für Kulturgutschutz), Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie Vertreter:innen der Akademie der Wissenschaften und aus verschiedenen Fachbereichen wie den Klimawissenschaften, Bauphysik, Restaurierungswissenschaften, Botanik, Forstwissenschaften, Landschaftsarchitektur, Geowissenschaften, Umweltwissenschaften usw.



Das Bewusstsein für klimawandelbedingte Risiken im Kulturerbeschutz und der Bedarf an Erfahrungsaustausch und Lösungsansätzen ist sehr hoch. Entsprechend engagiert zeigte sich das KERES-Expertengremium in der Antragsphase und während der Projektlaufzeit. Durch den regelmäßigen Austausch über mehr als drei Jahre ist ein Netzwerk entstanden, das auch über KERES hinaus für den interdisziplinären Austausch genutzt wird. Das Gremium ist außerdem eine gute Basis für die Auswahl von Praxispartnern für weitere Projekte in diesem Themengebiet, z. B. für den Folgeantrag KERES-PRO, in dem einige der Entwicklungen aus KERES weiterverfolgt werden sollen.

Abbildung 24: Verteilung der Mitglieder des Expertengremiums

3.10 Climate Fact Sheets und Klimasteckbriefe der Fallstudien (AP5/Hereon-GERICS, Fraunhofer IBP)

Die Climate Fact Sheets und die Klimasteckbriefe sind eines der wesentlichen Ergebnisse aus dem Projekt KERES. Sie fassen dabei nicht nur die relevanten Informationen zu Extremwetterereignissen heute und standortgenaue Projektionen zu künftigem Klima zusammen und ordnen diese in Hinblick auf die Vulnerabilität der jeweiligen Liegenschaft ein, sondern stellen vielmehr auch eine Methode zur strukturierten Auseinandersetzung zu diesen Fragen im Rahmen eines Prozesses der Klimaanpassung dar, der den Akteurinnen und Akteuren hilft, diese zu entwickeln. Diese Methodik wurde unter anderem im Projekt [Klima-Kultus](#) (siehe Kapitel 4) mit mehreren Institutionen erstmals erprobt. Basierend auf den Erkenntnissen werden die Klimasteckbriefe weiterentwickelt und bieten bereits heute die Basis für eine strukturierte Entwicklung von Vulnerabilitätsanalysen und daraus abgeleiteten Anpassungsstrategien für kulturelle Einrichtungen.

KERES Climate Fact Sheets (Hereon-GERICS)

Die KERES Climate Facts Sheets (CFS) wurden im Rahmen des Projekts für ausgewählte Kulturerbestätten entwickelt. Sie basieren auf der Auswertung des KERES-Ensembles und geben eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse über das Ausmaß und die Bandbreite prognostizierter Extremwetterereignisse. Die KERES CFS bewerten in erster Linie die Indikatoren des Extremwetters, die für bestimmte Kulturerbestätten relevant sind. Dazu gehören unter anderem Temperaturextreme, starke Niederschläge und Windereignisse. Diese Ereignisse verdeutlichen den Bedarf an Informationen und Daten für weitere Maßnahmen zur Anpassung und Resilienzplanung im Bereich des kulturellen Erbes.

Die KERES CFS wurden für ausgewählte Kulturerbestätten jeweils in Form eines Flyers und eines umfassenden Überblicks über die künftige Projektentwicklung erstellt. Der Flyer stellt die wichtigsten Ergebnisse des KERES-Ensembles vor. Die Indikatoren für Extreme sind mit den Problemen und Herausforderungen von Kulturerbestätten verbunden. Zum Beispiel stellen die Lockerung geschwächter Verbindungen der Bauteile und die Spannungen im Baumaterial zusammen mit der Überlastung des Wassersystems des Daches die größten Herausforderungen für den Kölner Dom dar. Deshalb wurden Indikatoren wie Windstürme, Dürre und Starkniederschläge, die zu diesen Schäden führen können, ausgewählt und deren Entwicklung für die Zukunft analysiert.

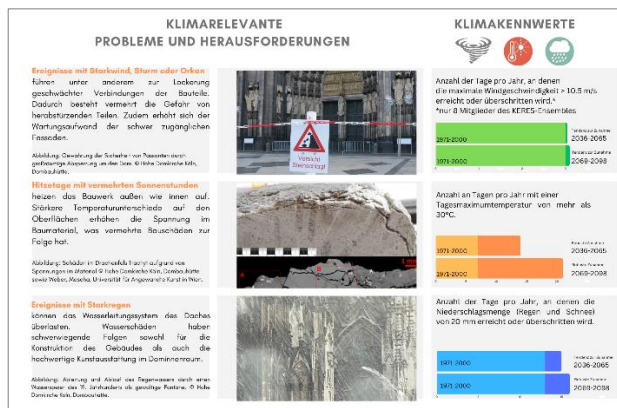
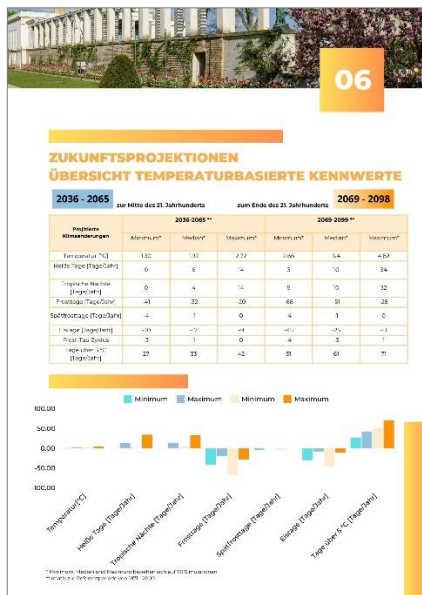


Abbildung 25: links: Beispielseite aus dem ausführlichen Climate Fact Sheet Charlottenhof; rechts: Innenseite des Climate Fact Sheet-Flyers Kölner Dom

Der Überblick soll einen möglichst umfassenden Kenntnisstand über Extremwetterereignisse im Rahmen des KERES-Projekts bieten, einschließlich möglicher Unsicherheiten. Die Datenanalyseverfahren für alle Kulturerbestätten beinhalten zusätzlich eine Klassifizierung der Robustheit der Modellergebnisse. Da die Analysen standardisiert sind, bieten die KERES CFS eine gute Grundlage für vergleichbare und qualitätsgeprüfte Auswertungen sowie für zukünftige Weiterentwicklungen als Climate Fact Sheets für das kulturelle Erbe in Deutschland.

KERES Klimasteckbriefe (Fraunhofer IBP)

Die Klimasteckbriefe fassen Informationen zur jeweiligen Liegenschaft zu Lage, Geschichte, Materialität, zukünftiger Entwicklung des lokalen Klimas, Vulnerabilität und spezifischen Risiken, bereits durchgeführten organisatorischen und baulichen Maßnahmen sowie Konzepte für eine zukünftige Entwicklung von Klimawandel-Anpassung zusammen. Pate für den Klimasteckbrief war dabei der Gebäude-Energieausweis, der ebenso eine übersichtliche Einordnung relevanter Informationen ermöglicht.

3.11 Zukunftswerkstatt (AP5/alle)

Als Teil der Verbreitung von Wissen wurden im Projekt KERES neue Formate für kulturelle Einrichtungen entwickelt, um das Bewusstsein für Risiken durch Extremwetterereignisse zu schärfen und Prozesse für Prävention und Anpassung in Gang zu setzen. Diese Formate bauen auf dem Konzept der sogenannten Notfallplanspiele auf, bei denen bestimmte Gefahrenlagen hypothetisch mit verteilten Rollen durchgespielt werden. Daraus entwickelt hat sich das Konzept „Zukunftswerkstatt“, bei dem es darum geht, die Perspektive einer Liegenschaft in naher bis mittlerer Zukunft einzunehmen und zu überlegen, wie ein bestimmter, positiver Zustand erreicht werden könnte. Dieses Konzept wurde in zwei intensiven Workshops in Halberstadt und in Bad Windsheim am Fränkischen Freilandmuseum mit zahlreichen Akteurinnen und Akteuren aus der Welt der Freilichtmuseen erfolgreich erstmalig durchgeführt.

Das Format der Zukunftswerkstatt bindet Akteurinnen und Akteure einer Liegenschaft ein und führt sie gezielt durch die Themen Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse spielerisch zur Frage wie eine geglückte Anpassung in Zukunft aussehen kann. Dieses Format bietet aus Sicht des Projekts KERES viel Potential,

Einrichtungen dabei zu unterstützen Anpassungsstrategien zu entwickeln, und kann durch verschiedene Module gestaltet werden angefangen bei der Frage der städtebaulichen Analyse von vulnerablen Strukturen bis hin zur konkreten baulichen oder organisatorischen Anpassung. Es ist daher vorgesehen, das Format weiter zu entwickeln und kulturellen Einrichtungen anzubieten, solche Zukunftswerkstätten auch individuell durchzuführen.

4. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und Projekten

4.1 Zusammenarbeit mit Hochschulen

Universität Bamberg, Professur für Präventive Konservierung in der Baudenkmalpflege

Die Otto-Friedrich-Universität Bamberg begleitete insbesondere die Untersuchungen im Fränkischen Freilandmuseum Bad Windsheim. Im Rahmen zweier Anwendungswochen konnten sich insgesamt 30 Studierende dort eingehend mit Fragen der Klimawirkungen auf Kunstwerke und gebautes kulturelles Erbe auseinandersetzen und erlernen, wie die Untersuchung historischer Gebäude und Sammlungen abläuft. Im Rahmen einer Masterarbeit wurden grundlegende Erkenntnisse zur Wirkung von Extremwetter auf vulnerable Fachwerk-Konstruktionen an zwei konkreten Fallstudien erarbeitet.

Technische Universität München

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Universität München sind zwei Bachelorarbeiten und eine Masterarbeit zum Thema Überhitzung von Gebäuden, Auswirkungen auf das Innenraumklima und Simulation mit Fokus auf die Fallstudie Charlottenhof entstanden. Außerdem wurden anhand der Fallstudien Sufferloh und Bad Windsheim zwei Masterarbeiten zum Thema schlagregeninduzierte Schadensprozesse betreut.

Ghent University (Belgium), Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture and Urban Planning

Die Ghent University begleitete die Fallstudie Hamburg. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Austauschs entstand auf der Basis der KERES-Daten eine Dissertation mit Fokus auf der hygrothermischen Modellierung von Gebäudehüllen:

Vandemeulebroucke, I. (2023). Untangled: climate projections for hygrothermal modelling of building envelopes. ISBN 9789463557115

4.2 Zusammenarbeit mit Projekten

Projekt „ARCH – Advancing Resilience of historic areas against Climate-related and other Hazards“

Mit dem Projekt ARCH fand ein regelmäßiger Austausch zum Thema Gefährdung historischer Gebäude in Hamburg durch Veränderungen im Tidenhub und häufigere und heftigere Sturmfluten statt. Es wurden bei Workshops und Expertenveranstaltungen durchgeführt, die sich mit der Untersuchung von Schadensmechanismen und der Entwicklung von Anpassungsstrategien beschäftigten. Zur Überwachung der Veränderungen am historischen Gebäudebestand und zur Früherkennung kritischer Schäden wurde ein Monitoring anhand moderner 3D-Modelle als mögliche Maßnahme identifiziert.

Projektseite: <https://savingculturalheritage.eu/>

Projekt „Klima-Kultus – Entwicklung von Bildungsmodulen zur Schadensprävention für Kulturgüter in Zeiten des Klimawandels“

Im Projekt „Klima-Kultus“ wurden u. a. aus den Erkenntnissen des KERES-Projekts konkrete Risikoanalysen als Basis für die Entwicklung von Klimawandel-Anpassungskonzepten für kulturelle Einrichtungen entwickelt. Dazu wurden in zwei Workshops mit insgesamt 25 Vertreterinnen und Vertretern unterschiedlicher Institutionen die Vulnerabilitäten der jeweiligen Standorte und ggf. Sammlungen diskutiert, die Projektionen zum Klimawandel analysiert und anhand der Gliederung der Klimasteckbriefe aus KERES Daten gesammelt und strukturiert.

Seminarankündigung: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/veranstaltungen-messen/seminar-klima-kultus.html>

Projekt „CLIMPACTH – Climate Impact on Built Heritage

Im Rahmen eines Erfahrungsaustauschs wurde mit dem Konsortium von CLIMPACTH der Ansatz von KERES diskutiert, Klimaprojektionen vor dem Hintergrund verschiedener Klimawandelszenarien mit Ergebnissen aus Simulationen zu Auswirkungen auf historische Materialien, Gebäude und Sammlungen zu verbinden und dadurch wirksame Restaurierungs- und Konservierungsstrategien zu identifizieren.

Projektseite: <https://research.ugent.be/web/result/project/76069665-e074-4b4f-83b6-d38e42befcd2/details/en>

Projekt „Kulturerbe in Gefahr – Auswirkungen des Klimawandels, Chancen der Digitalisierung“

Im Rahmen des Projekts Kulturerbe in Gefahr wurde eine modulare, webbasierte Plattform-Toolbox entwickelt, die Sensordaten aus allen relevanten Quellen erfassen und verwalten, diese mit Algorithmen auswerten, die Analyseergebnisse mit weiteren Informationen verknüpfen und den jeweiligen Experten und Entscheidern aufbereitet und z.T. visualisiert zur Verfügung stellen kann. Projektübergreifend wurde v. a. die Basis der Plattform diskutiert, eine anwenderorientierte, semantische Ontologie, in der die Themen Kulturerbe und Klimawandel sinnvoll miteinander verknüpft wurden.

Projektseite: <https://www.imw.fraunhofer.de/de/forschung/wissenstransfer/innovationsakzeptanz/projekte/Kulturerbe-Klimawandel.html>

Projekt „Rette einen Baum in Sanssouci“

Unter Leitung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. ATB wurde im Zeitraum von zwei Jahren (15.10.2021-14.10.2023) in einem Forschungsprojekt gemeinsam mit der Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg und der Freien Universität zu Berlin nach einer nachhaltigen Lösung zur Rettung bereits geschwächter Bäume gesucht. Im Fokus stand der Einsatz von Huminstoffen, die mittels hydrothermalen Humifizierung aus Restbiomasse gewonnen werden. Die sogenannten künstlichen Huminstoffe (KHS) sollen als eine Art pflanzlicher Biostimulantien dazu beitragen, die Resilienz der Pflanzen gegenüber abiotischen und biotischen Stressoren zu verbessern. So erhöhen Huminstoffe, die natürlicherweise zum Beispiel in Kompost zu finden sind, die Wasserhaltekapazität des Bodens. Im Wurzelbereich stimulieren sie das Bodenleben, fördern das Wurzelwachstum und verbessern die Nährstoffaufnahme der Bäume. Die künstlich hergestellten, organischen Bodenverbesserer wurden bei einer Rotbuche im Park Sanssouci getestet. Bodenuntersuchungen am Ende der Projektlaufzeit zeigen eine Erhöhung des organischen Kohlenstoffs sowie der Artenvielfalt bei Pilzen, ein Indiz für die positive Wirkung der Huminstoffe im Boden.

Auch wenn für eine valide Beurteilung Versuche an weiteren Bäumen notwendig sind, wurde der gezielte Einsatz von Huminstoffen in den Maßnahmenkatalog zum Schutz und Erhalt der historischen Gärten aufgenommen.

Projektseite: <https://www.atb-potsdam.de/de/forschung/forschungsprojekte/projektsuche/projekt/projekt/baumgesundheit>

5. Veröffentlichungen und studentische Abschlussarbeiten

5.1 KERES-Broschüre



Mit Abschluss des Projekts wurde auch die Broschüre „KERES – Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen“ veröffentlicht, die kostenlos zum Download bereitsteht und auch kostenpflichtig als Printexemplar bestellt werden kann. In der Broschüre sind die Projektergebnisse aufbereitet.

Download: <https://keres-projekt.de/ergebnisse/>

5.2 Artikel in Fachzeitschriften

- Feb. 2021 „Kulturgüter vor den Auswirkungen von Extremklimaereignissen schützen und ihre Resilienz erhöhen“, Zeitschrift Bausubstanz 01/21, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, [Link](#)
- 31.12.2022 „Unser Kulturerbe im Klimawandel“, Kapitel im Jahrbuch für Kulturpolitik 2021/22, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, [Link](#)
- 26.01.2023 „Making use of climate information for sustainable preservation of cultural heritage: applications to the KERES project“ (peer reviewed, open access), Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Matthias Winkler, Fraunhofer IBP, Prof. Dr. Ralf Kilian, Fraunhofer IBP, In: Heritage Science 11, [Link](#)
- 28.04.2023 „The KERES Ontology: Protecting Cultural Heritage from Extreme Climate Events“ (peer reviewed, open access), Jürgen Reuter, Tobias Hellmund, Jürgen Moßgraber, Philipp Hertweck, Fraunhofer IOSB, In: Cultural Heritage at Risk - Perspectives on Technologies, Materials, Modelling and Digitalization, [Link](#)
- 05.06.2023 „Klimaanpassungsmaßnahmen für die Preußischen Gärten“, Prof. Michael Rohde, Katharina Matheja, SPSSG, In: Stadt+Grün 06/2023, [Link](#), und In: Neue Landschaft, [Link](#)
- 17.11.2023 „Climate information for cultural heritage resilience“, Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS, In: Open Access Government, [Link](#)

5.3 Studentische Abschlussarbeiten

Bachelorarbeiten:

Selina Ferstl: „Maßnahmen zur Verhinderung von Überhitzung in Gebäuden aufgrund des Klimawandels mit besonderem Augenmerk auf Museen und Schlösser am Beispiel Schloss Charlottenhof.“ Technische Universität München, 2021.

Sophie Nibler: „Semi-systematischer Review zur Bewertung des thermischen Komforts, Behaglichkeit und der menschlichen Gesundheit in Museen.“ Technische Universität München, 2021.

Okan Özsoy: „GIS-basiertes Monitoring junger Gehölze und Klimaanpassungsstrategien von historischen Gärten in den Schlossparks Sanssouci und Babelsberg.“ Technische Universität Berlin, 2023.

Masterarbeiten:

Björn Eckert: „Transiente Grundwassermodellierung zur Planung von Entnahmebrunnen für das UNESCO-Welterbe 'ParkSanssouci'.“ Universität Potsdam, 2022.

Julian Fetoski: „Schlagregeninduzierte Schadensprozesse an historischen Massivbauten im Zuge des Klimawandels. Darstellung anhand des Beispiels der Frauenbergkapelle Sufferloh.“ Technische Universität München, 2023.

Martin Göpfert: „Schlagregeninduzierte Schäden an historischen Fachwerkkonstruktionen infolge des Klimawandels – Fallstudie an einem Fachwerkhaus im Freilandmuseum Bad Windsheim mittels hygrothermischen Simulationen unter Berücksichtigung künftiger Klimaprojektionen.“ Technische Universität München, 2021.

Neele Mundt: „Erfassung von Baumgruppen und Einzelbäumen aus Fernerkundungsdaten zur Integration in das Stadtklimamodell "PALM-4U" – ein Methodenvergleich.“ Christian-Albrechts-Universität Kiel, 2023.

Franziska Prell: „Vulnerabilität historischer Bauwerke aufgrund klimatischer Einflüsse. Restaurierungswissenschaftliche Untersuchung zweier Fachwerkgebäude im Fränkischen Freilandmuseum Bad Windsheim.“ Otto-Friedrich-Universität Bamberg, 2022

Annika Salminger: „Schadensrisiken historischer Gebäude durch extreme Hitzeereignisse.“ Hochschule für angewandte Wissenschaften München, 2023.

Arne Fritz Thalmann: „Simulation des Schloss Charlottenhof in Potsdam unter Klimawandelszenarien.“ Technische Universität München, 2022.

Anhang 1: Vorträge über KERES auf externen Veranstaltungen

- 25.02.2021 „KERES - Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und Resilienz erhöhen“, Vortrag (online), Initiativbündnis Historische Gärten: Klimawandel im Dialog, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 26.03.2021 „KERES - Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und Resilienz erhöhen“, Vorstellung, AG Historische Gärten, FG Gärten Prof. Michael Rohde, SPSG
- 27.04.2021 „Kulturerbe im Klimawandel – Mit globalen Klimamodellen und Gebäudesimulationen Kulturgüter schützen“, Workshop mit Impulsvorträgen (online), Bundesvolontariatstagung BVT 2021, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Prof. Dr. Ralf Kilian, Fraunhofer IBP, Dr. Jürgen Moßgraber, Fraunhofer IOSB, Uta Pollmer, Fraunhofer IMW
- 12.06.2021 „Forschungsprojekt KERES“, Vorstellung, Weiterbildung – Gartendenkmalpflege: Wegebau und Wegepflege in historischen Gärten unter veränderten Anforderungen, Katharina Matheja, SPSG
- 21.-22.06.2021 „Historic gardens as a cultural task. Responsibility – climate adaptation strategies – values“, Vortrag, Intercultural Studies UNESCO Chair in Heritage Studies: Online Conference 50 Years World Heritage Convention: Shared Responsibility – Conflict & Reconciliation, Prof. Dr. Michael Rohde, SPSG
- 09.07.2021 Experten-Workshop, Unterstützung des Internationalen Meetings von UNESCO-ICOMOS-IPCC über Kultur, Kulturerbe und Klimawandel im Dezember 2021, Prof. Dr. Michael Rohde, SPSG
- 11.07.2021 „Notwendige Strategien für historische Gärten und Kulturlandschaften vor dem Hintergrund von Extremklimaereignissen mit Blick auf Klimaprognosen“, Vortrag (online), DBU-Umweltwoche 2021, Podium IV: Deutschland 2050 – Visionen für unser Leben der Zukunft, Klimaanpassungsstrategien für historische Gärten und Kulturlandschaften, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 11.07.2021 „Zukunftsweisender Umgang mit der Gehölzvegetation historischer Gärten in Zeiten des Klimawandels“, Vortrag (online), DBU-Umweltwoche 2021, Podium IV: Deutschland 2050 – Visionen für unser Leben der Zukunft, Klimaanpassungsstrategien für historische Gärten und Kulturlandschaften, Prof. Dr. Michael Rohde, SPSG
- 02.09.2021 „KERES – Protecting cultural heritage from extreme climate events and increasing resilience“, Vorstellung (online), HERACLES-Konsortium und weitere griechische Partner, Dr. Jürgen Moßgraber, Fraunhofer IOSB
- 23.09.2021 „Der Klimawandel – eine Gefahr und Chance für unser Kulturerbe“, Vortrag, 10. Tag der Bestandserhaltung, Berlin und Brandenburg, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 29.09.2021 „Resilienz des kulturellen Erbes im Klimawandel – BMBF-Projekt KERES“, Vortrag (online), Konferenz Grünes Museum, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 01.10.2021 „Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und Resilienz erhöhen“, Vortrag, SiLK-Tagung: KULTUR!GUT!SCHÜTZEN! Synergien im Kulturgutschutz – Netzwerke und Kooperationen, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 06.10.2021 „Resilienz des kulturellen Erbes im Klimawandel – BMBF-Projekt KERES“, Vortrag (online), Konferenz Grünes Museum, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 19.11.2021 „KERES – Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und Resilienz erhöhen“, Vortrag (online), Klimanavigator Portalversammlung, Uta Pollmer, Fraunhofer IMW

- 04.11.2021 „Resilienz des kulturellen Erbes im Klimawandel – BMBF-Projekt KERES“, Vortrag (online), Konferenz Grünes Museum, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 26.05.2022 „Making use of climate information for protecting cultural heritage from extreme weather events in a warming world“, Vortrag, (European Geosciences Union) EGU General Assembly 2022, Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS
- 20.07.2022 „Climate Change and Cultural Heritage – Experiences from KERES“, Vortrag, Plenum ARCH Final Event, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC, Uta Pollmer, Fraunhofer IMW
- 16.10.2022 Vorstellung der "Kapelle Sufferloh" als Fallstudie im KERES-Projekt vor Ort, Tag der Restaurierung, Fraunhofer IBP
- 24.11.2022 „Welterbe in der Klimakrise“, Vortrag, Fachtagung Welt.Erbe.Klima – Welterbe-Bildung für eine klimabewusste nachhaltige Entwicklung, Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer ISC
- 24.11.2022 „Klimawandel in historischen Gärten und Parklandschaften“, Vortrag, Fachtagung Welt.Erbe.Klima – Welterbe-Bildung für eine klimabewusste nachhaltige Entwicklung, Katharina Matheja, SPSG
- 24.11.2022 „KERES – Wissensmanagement und Krisenprävention“, Vortrag, Fraunhofer-Forum, denkmal Messe Leipzig, Dr. Jürgen Moßgraber, Fraunhofer IOSB
- 07.12.2022 „Klimawandel und seine Auswirkungen für Schleswig-Holstein“, angefragter Vortrag, Plenum, Auftaktveranstaltung zur Gründung von Notfallverbänden in Schleswig-Holstein, Landesarchiv Schleswig-Holstein, Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS
- 28.02.2023 „Climatic effects on half-timbered heritage in the Franconian open-air museum Bad Windsheim“, Vortrag, Conference on Cultural Heritage and Climate Change, University of Bamberg, Franziska Prell, Prof. Dr. Ralf Kilian, Fraunhofer IBP
- 28.02.2023 „Application of hygrothermal building simulations to determine potential damage to historic buildings caused by climate change“, Vortrag, Conference on Cultural Heritage and Climate Change, University of Bamberg, Matthias Winkler, Prof. Dr. Ralf Kilian, Dr. Stefan Bichlmair, Dr. Kristina Holl, Fraunhofer IBP
- 21.03.2023 „Klimawandel und seine Auswirkungen auf Rheinland-Pfalz“, angefragter Vortrag, Tagung Klimawandel und Setzungsbedingte Bauwerkschäden, Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, Direktion Landesdenkmalpflege & Institut für Steinkonservierung e. V., Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS
- 28.03.2023 „Themenportal Klimawandel und Kulturerbe“, Vortrag, Klimanavigator Portalpartner-versammlung, Uta Pollmer, Fraunhofer IMW
- 21.04.2023 „Klimawandel und seine Auswirkungen auf Sachsen-Anhalt“, angefragter Vortrag, Tagung Notfall im Museum, Museumsverband Sachsen-Anhalt, Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS
- 21.09.2023 „Klimainformationen zum Schutz des kulturellen Erbes – Erfahrungen aus dem Projekt KERES“, Vortrag, Woche der Klimaanpassung 2023, Dr. Lola Kotova, Hereon-GERICS

Anhang 2: Artikel über KERES von externen Autor:innen

- 01.12.2020 „Wie schützen wir Kulturgüter vor Extremwetter?“, Sächsische Zeitung, Stephan Schön (nicht mehr online)
- 08.01.2021 „Forschungsprojekt KERES. Kulturgüter im Klimawandel: "Wir werden nicht alles erhalten können"“, Artikel zum Interview, MDR Kultur, Pia Uffelmann (nicht mehr online)
- 17.02.2021 „Staatliche Schlösser und Gärten in bundesweitem Projekt zum Klimawandel“, SSG, [Link](#)
- 19.02.2021 „Staatliche Schlösser und Gärten in bundesweitem Projekt zum Klimawandel“, GaLaBau - Fachzeitschrift für den Garten- und Landschaftsbau, [Link](#)
- 25.02.2021 „Staatliche Schlösser und Gärten Baden-Württemberg in bundesweitem Projekt zum Klimawandel“, Mitteilungsblatt Neustadt (nicht mehr online)
- 16.03.2021 „Klimawandel trifft Kulturdenkmäler“, Badische Neueste Nachrichten Baden-Baden
- 14.05.2021 „Forscher wollen Resilienz historischer Parks und Gärten erhöhen“, Neue Landschaft 05/2021, [Link](#)
- 04.07.2021 „Die große Dürre! Wie sich Berlin für die Klima-Zukunft rüstet“, BZ am Sonntag, Björn Trautwein, [Link](#)
- 06.07.2021 „Extremwetter-Situationen – zukünftige Herausforderungen für Kulturdenkmäler“, SSG, [Link](#)
- 08.07.2021 „Nächstes Mal kann es auch den Heidelberger Schlosspark treffen. Staatliche Schlösser und Gärten warnen vor schweren Unwetterfolgen“, Rhein-Neckar-Zeitung, Carsten Blaue, [Link](#)
- 09.08.2021 „Wie schützen wir Kulturerbe im Klimawandel?“, RBB Kulturradio (nicht mehr online)
- 09.08.2021 „Bad Windsheim: Wandrocknungssysteme im Museum im Einsatz – Experten vom Fraunhofer Institut helfen Hochwasserschäden zu beseitigen“, Der Neue Wiesenbote, [Link](#)
- 11.08.2021 „Kulturgüter gezielter und dauerhafter schützen“, Hipoltsteiner Kurier
- 12.08.2021 „Stressige Zeiten fürs Kulturerbe“, Geo Sep 01, 2021
- 14.08.2021 „Wandrocknungssysteme im Museum im Einsatz“, Verband der Restauratoren VDR, [Link](#)
- 19.08.2021 „Bad Windsheim - Wie Kulturerbe vor Naturkatastrophen geschützt werden soll“, MainPost, Anna-Lena Behnke, [Link](#)
- 27.08.2021 „Durchnässte Gemälde. Klimawandel - Überflutete Depots, zerstörte Sammlungen: Wie schützt man Kulturgüter im Katastrophenfall?“, der Freitag, Cara Wuchold, [Link](#)
- 08.11.2021 „Wetterextreme: Klimawandel bedroht Aachener Dom“, Aachener Zeitung, [Link](#)
- 08.11.2021 „Wetterextreme: Klimawandel bedroht Aachener Dom“, The World News (nicht mehr online)
- 15.11.2021 „Kulturerbe in Zeiten der Klimakrise“, Transforming Cities, [Link](#)
- 26.11.2021 „Kulturerbe in Zeiten der Klimakrise“, deutsche bauzeitung, [Link](#)
- 10.02.2022 „Gärtnern für die Revolution“, die ZEIT, Christiane Grefe, [Link](#)
- 16.10.2022 „Der Kölner Dom und der Klimawandel“, Deutsche Welle, Stefan Dege, [Link](#)

21.12.2022 „Klimawandel: Rettungsstrategien für historische Gärten und Parks“, weather.com, Silke Nauschütz, [Link](#)

05.01.2023 „Klima-Rettungsmission im Park Branitz“, PNN/Tagesspiegel online, Silke Nauschütz, [Link](#)

21.01.2023 „Baumuniversität 2.0“, Münstersche Zeitung Westfalen-Anzeiger, Silke Nauschütz

10.03.2023 „Klimakrise. Kultur unter Wasser. Ideen für eine nachhaltige Zukunft“, P.M., Marlene Göring

20.03.2023 „Kultur unter Wasser: Die Klimakrise bedroht Schlösser, Parks und Museen“, Geo+ Kulturgut, Marlene Göring, [Link](#)

12.10.2023 „Fluten, Stürme, Hitze und Dürren – KERES Forschungsprojekt beleuchtet Auswirkungen des Klimawandels auf Welterbestätten“, Rheinischer Verein für Denkmalpflege und Landschaftsschutz e.V., Roswitha Kaiser, [Link](#)



Kölner Dom, © dpa/Federico Gambarini



Schloss Charlottenhof, © SPSG/Hans Bach

KERES

**Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und
Resilienz erhöhen**

Assoziierte Projektpartner

Stand Juni 2021

Projektpartner

Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.

Helmholtz-Zentrum hereon GmbH, Climate Service Center Germany

Stiftung Preussische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg

Fallstudien

Fallstudie	Ansprechpartner
Parks Sanssouci und Babelsberg	Stiftung Preussische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg (Projektpartner)
Schloss Charlottenhof	Stiftung Preussische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg (Projektpartner)
Kölner Dom	Metropolitankapitel der Hohen Domkirche Köln, Dombauhütte – Glasrestaurierungswerkstatt, Roncalliplatz 2, 50667 Köln
Speicherstadt Hamburg	Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Kultur und Medien, Große Bleichen 30, 20354 Hamburg
Fränkisches Freilandmuseum Bad Windsheim	Fränkisches Freilandmuseum Bad Windsheim, Eisweiherweg 1, 91438 Bad Windsheim
Kapelle Sufferloh	Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Projektpartner)

Expertengremium

Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben	
Brand- und Katastrophenschutzamt Landeshauptstadt Dresden	Postfach 12 00 20, 01001 Dresden
Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Bereich Strategie und Steuerung, Forschung	Provinzialstr. 93, 53127 Bonn
LandesFeuerwehrVerband Bayern e.V.	Carl-von-Linde-Str. 42, 85716 Unterschleißheim
Kulturerbeeinrichtungen	
Generaldirektion Kulturelles Erbe, Rheinland-Pfalz	Erthaler Hof, Schillerstr. 44, 55116 Mainz
Staatliche Schlösser und Gärten, Baden-Württemberg	Schlossraum 22a, 76646 Bruchsal
Römisch-Germanisches Zentralmuseum/Leibniz-Forschungsinstitut für Archäologie	Ernst-Ludwig-Platz 2, 55116 Mainz
Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen	Postfach 20 20 63, 80020 München
Kulturstiftung Dessau-Wörlitz	Schloß Großkühnau, 06846 Dessau-Roßlau
Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Zwingerbauhütte	Niederlassung Dresden I, Königsbrücker Straße 80, 01099 Dresden
Westfälisches Landesmuseum für Industriekultur	Grubenweg 5, 44388 Dortmund
Ephorate of Antiquities of Heraklion	1 Xanthoudidou Str., 71202 Heraklion, Crete, Greece

Wissenschaft und Forschung	
Max-Planck-Institut für Meteorologie	Bundesstr. 53, 20146 Hamburg
Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie	Karl-Liebknecht-Strasse 24-25, Haus 1, 14476 Potsdam-Golm
Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung - IASS Potsdam	Berliner Str. 130, 14467 Potsdam
Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Institut für Archäologische Wissenschaften, Denkmalwissenschaften und Kunstgeschichte	Am Zwinger 6, 96047 Bamberg
Technische Universität Dresden, Institut für Forstbotanik und Forstzoologie	Pienner Str. 7, 01737 Tharandt
Freie Universität Berlin, Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem	Königin-Luise-Straße 6-8, 14195 Berlin
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachgebiet Waldschutz & Risikomanagement	Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Vegetationstechnik und Pflanzenverwendung, Fakultät VI, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung	Königin-Luise-Straße 22, 14195 Berlin-Dahlem
Helmholtz-Centre for Environmental Research UFZ/ Friedrich Schiller University Jena, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv)	Puschstraße 4, 04103 Leipzig
Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde	Alfred-Möller-Str.1, Haus 31, 16225 Eberswalde
Ingenieurgemeinschaft "Ingenieure für das Bauwesen - Prof. Hillemeier & Knapp GmbH"/ Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften	Schlickweg 7, 14129 Berlin
Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte	Boltzmannstraße 22, 14195 Berlin
Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften, Institut für Geographische Wissenschaften, Fernerkundung und Geoinformatik	Malteserstr. 74 -100, 12249 Berlin
Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum	Telegrafenberg, 14473 Potsdam
Verbände, Behörden u.a.	
ICOMOS Deutschland	Brüderstr. 13, 10178 Berlin
Deutsche Gesellschaft für Kulturgutschutz e.V.	Friedrich-Dedecke-Str. 57, 27432 Bremervörde
SiLK-Sicherheitsleitfaden Kulturgut	Manteuffelstr. 3, 22587 Hamburg
Verband der Landesdenkmalpfleger	c/o Landesamt für Denkmalpflege Hessen, 65203 Wiesbaden
Kultur und Arbeit e.V.	Goethestr. 10, 97980 Bad Mergentheim
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freistaat Sachsen	Postfach 540137, 01311 Dresden
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie, Landesmuseum	Wünsdorfer Platz 4-5, 15806 Zossen



Landeshauptstadt Potsdam - Fachbereich Klima, Umwelt und Grünflächen	Friedrich-Ebert-Straße 79/81, 14469 Potsdam
Deutsche Bundesstiftung Umwelt	An der Bornau 2, 49090 Osnabrück

Projekt KERES

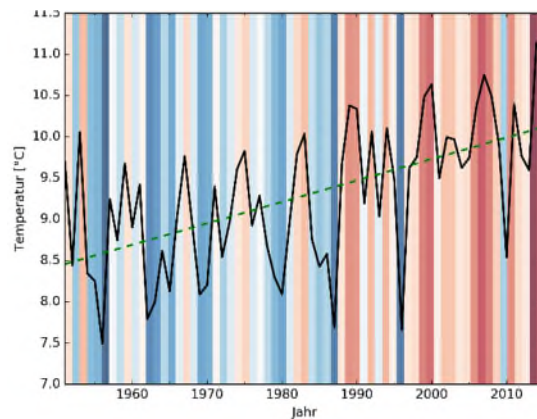
Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen
und Resilienz erhöhen

Öffentlicher Workshop

„Auswirkungen des Klimawandels auf Kulturerbe“



Schloss Charlottenhof, © SPSG/Hans Bach



Jahresmittel der bodennahen Lufttemperatur,
© GERICS

28. Oktober 2021

09:00-16:00

AGENDA

09:00 - 09:30	Einführung		
09:00 - 09:15	Aktuelles aus der Klimaforschung	Daniela Jacob, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Willkommen / Begrüßungsrede
09:15 - 09:30	Das KERES-Projekt	Johanna Leissner, Fraunhofer Brüssel Lola Kotova, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Überblick über KERES und die Ziele des Workshops
09:30 - 10:30	Regionale Klimamodellierung für Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels <i>Mit welchen Klimamodellen und welchem Emissionsszenario arbeiten wir? Wie lassen sich daraus zukünftige Extremklimaereignisse berechnen? Mit welchen Unsicherheiten müssen wir arbeiten?</i>		
09:30 - 09:45	Regionale Klimamodellierung am GERICS	Kevin Sieck, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Klimamodellierung: kurz und knapp
09:45 - 10:00	Modellsimulationen für die Erforschung des Klimawandels in DE	Katharina Bülow, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Die Datengrundlage für die Erforschung des Klimawandels in DE und Europa
10:00 - 10:15	Klimawandel und Meeresspiegel der Nordsee	Uwe Mikolajewicz, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg	Globale Erwärmung führt zu höheren Sturmfluten in der Deutschen Bucht
10:15 - 10:30	Diskussion		
10:30 - 10:45	Kaffeepause		
10:45 - 11:30	Klimaservice zur Unterstützung von EntscheidungsträgerInnen bei der Anpassung an den Klimawandel <i>Wie werden die Klimadaten benutzt und von wem?</i>		
10:45 - 11:00	Klima-Informationsprodukte für die Landwirtschaft	Sebastian Bathiany, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Einblicke ins Projekt ADAPTER
10:00 - 11:15	Der urbane Raum in einer 2°C-Welt – Herausforderungen für die kritische Infrastruktur	Steffen Bender, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Beispiele aus verschiedenen Projekten
11:15 - 11:30	Diskussion		
11:30 - 12:15	Experiences from Europe (in English)		
11:30 - 11:45	Climate hazard storylines for the heritage sector (tbc)	Christopher Goddard, MetOffice, Großbritannien	EUCP project, example climate hazard storylines for Scotland

11:45 - 12:00	Hazard mapping and adaptation across the UK's historic environment sector	Imogen Sambrook, Heritage & Climate Consultant for National Trust, Großbritannien	Utilising hazard mapping to understand, plan, develop and embed adaptive pathways at our historic places
12:00 - 12:15	Diskussion		
12:15 - 13:15	Mittagspause		
13:15 - 13:45	Klimadaten im Kulturerbeschutz <i>Welche Klimaparameter brauchen wir genau und wie relevant sind sie für die historischen Gebäude und für die historischen Gärten?</i>		
13:15 - 13:30	Entwicklung und Erstellung der Climate Fact Sheets	Lola Kotova, Climate Service Center (GERICS), Hamburg	Bereitstellen von entsprechenden Klimainformationen für die KERES-Fallstudien in verschiedenen Klima-zonen Deutschlands in übersichtlicher und verständlicher Form
13:30 - 13:45	Diskussion		
13:45 - 14:30	Diskussion in Gruppen		
	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Auswirkungen des Klimawandels sind in Ihrer Region Ihrer Einschätzung nach in den nächsten 5 bis 30 Jahren zu erwarten? • Welche Kulturerbestätten können durch klimatische Veränderungen beeinflusst werden? • Welche Informationen benötigen Ihrer Meinung nach die zuständigen EntscheiderInnen und MitarbeiterInnen der Kulturerbeeinrichtungen über die zukünftigen (lokalen) Auswirkungen des Klimawandels, insbesondere von Extremereignissen, auf Kulturerbe? • Welche Unterstützung benötigen Ihrer Meinung nach die zuständigen EntscheiderInnen und MitarbeiterInnen der Kulturerbeeinrichtungen, um Kulturerbe vor den zukünftigen (lokalen) Auswirkungen des Klimawandels zu schützen? • Welche Klimainformationen oder Klimadaten werden bereits genutzt? • Welche qualitativen/quantitative Klimainformation brauchen Sie bzw. Ihre Kulturerbestätte? 		
14:30 - 14:45	Kaffeepause		
14:45 - 15:30	Die KERES Plattform als Frühwarnsystem in Deutschland <i>Wofür wird eine Plattform gebraucht? Wer wird die Plattform nutzen?</i>		
14:45 - 15:00	Vorstellung der Plattform	Jürgen Moßgraber, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe	Aufbau, Ontologie und Navigation, Inhalte (Karten und Sensordaten) und Schnittstellen
15:00 - 15:30	Diskussion in Gruppen		
	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Daten/Funktionen/Visualisierungen fehlen in der Plattform? • Welche offenen Datenquellen kennen Sie, die wir integrieren können? 		
15:30 - 16:00	Zusammenfassung und Abschlussdiskussion		

KERES

Kulturgüter vor Extremklimaereignissen schützen und
Resilienz erhöhen

ABSCHLUSSKONFERENZ



Kölner Dom © Hohe Domkirche Köln, Dombauhütte;
Foto: Matz und Schenk



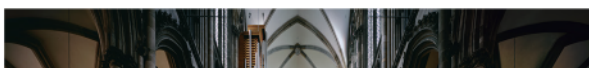
Schloss Charlottenhof © SPSG; Foto: Hans Bach

05.-06. Oktober 2023

Pflanzhalle des Orangerieschlosses
Sanssouci, Potsdam

Projektpartner

Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.
Helmholtz-Zentrum Hereon GmbH, Climate Service Center Germany
Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg



PROGRAMM 05.10.23

Östliche Pflanzhalle des Orangerieschlusses Sanssouci
An der Orangerie 3-5, 14469 Potsdam

- 09:00 - 09:15 **Empfang**
- 09:15 - 09:40 **Begrüßung**
Prof. Dr. Christoph Martin Vogtherr, Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer-Büro Brüssel, Projektleiterin
- 09:40 - 10:00 **Klimawandel und Kulturerbe**
Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer-Büro Brüssel
Prof. Dr. Michael Rohde, Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
- 10:00 - 10:20 **Anwendung von Klimainformationen für Kulturerbe**
Dr. Lola Kotova, Helmholtz-Zentrum Hereon, Climate Service Center Germany
- 10:20 - 10:50 *Kaffeepause*
- 10:50 - 11:15 **Kritikalität und Prävention: Historische Gebäude und Sammlungen**
Prof. Dr. Ralf Kilian, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
- 11:15 - 11:40 **Simulation von Extremklimaereignissen für historische Gebäude und Parkanlagen**
Matthias Winkler, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
- 11:40 - 12:00 **IT-Tools für Kulturerbe: Die KERES-Plattform**
Dr. Jürgen Moßgraber, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- 12:00 - 13:30 *Mittagspause*
- 13:30 - 14:00 **Kritikalität und Prävention: Historische Gärten und Parkanlagen**
Katharina Matheja, Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
- 14:00 - 14:30 **Drohnenbasierte Datenerfassung in historischen Parkanlagen**
PD Dr. Sören Hese, Friedrich-Schiller-Universität Jena



- 14:30 - 14:45 IT-Tools für Kulturerbe: Einbindung von Baumkataster und Dürremonitor
Jürgen Reuter, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- 14:45 - 15:15 *Kaffeepause*
- 15:15 - 15:40 Kritikalität und Prävention: Climate Fact Sheets und Klimasteckbriefe
Dr. Lola Kotova, Helmholtz-Zentrum Hereon, Climate Service Center Germany
Prof. Dr. Ralf Kilian, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
- 15:40 - 16:15 Notfallmanagement: Zukunftswerkstatt zur Anpassung an Extremklimaereignisse
Lars Klemm, iconyk GmbH
Dieter Gottschalk, Fränkisches Freilandmuseum Bad Windsheim
Dr. Peter Giere, Museum für Naturkunde Berlin
- 16:15 - 16:30 IT-Tools für Kulturerbe: WALKER – Laufkarten für die Rettung und Bergung von Kulturgütern
Tobias Hellmund, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- 16:30 - 16:45 *Kaffeepause*
- 16:45 - 17:15 Podiumsdiskussion:
Klimawandel und Kulturerbe – Zukünftige Herausforderungen
Moderation: Dr. Johanna Leissner, Fraunhofer-Büro Brüssel & Prof. Dr. Michael Rohde, Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
- 17:15 - 17:30 Feedback und Verabschiedung

PROGRAMM 06.10.23

Schloss Charlottenhof
Geschwister-Scholl-Straße 34a, 14471 Potsdam

- 09:00 - 12:00 Führung: Auswirkungen von Extremklimaereignissen auf historische Parkanlagen und Gebäude – Park Sanssouci und Schloss Charlottenhof
Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg

