

Dem Zahn der Zeit zum Trotz

Wie Wissenschaftler mit Hightech
unser Kulturerbe retten



Forschungsallianz
Kulturerbe

getragen von



Stiftung
Preußischer Kulturbesitz



Leibniz
Gemeinschaft



Fraunhofer

Eine Publikation in Zusammenarbeit mit **Spektrum**
DER WISSENSCHAFT

Die »Forschungsallianz Kulturerbe«

Seit 2008 bündeln Fraunhofer-Gesellschaft, Leibniz-Gemeinschaft und Stiftung Preußischer Kulturbesitz ihre natur-, geistes- und kulturwissenschaftlichen Kompetenzen in der »Forschungsallianz Kulturerbe«. Ziel ist es, gemeinsam neue Verfahren, Materialien und Technologien für die Restaurierung und Konservierung von Kulturgütern zu entwickeln und zu erproben.

Die Identität eines Landes oder einer Staatengemeinschaft gründet auf den Eigenheiten ihrer kulturellen Entwicklung. So macht gerade die Fülle des vielfältigen Kulturerbes eine Besonderheit des immer stär-

ker zusammenwachsenden Europas aus und lässt die Geschichte seiner Bevölkerung stets erfahrbar sein und bleiben. Die Zeugnisse der Vergangenheit – Schriftstücke, Gemälde, Skulpturen oder historische Gebäude, aber auch Alltagsgegenstände und industrielle Relikte – besitzen somit eine hohe, weit über ihren finanziellen Wert hinausreichende Bedeutung.

Kulturgüter haben eine besondere Strahlkraft. Sie ziehen Ströme von Menschen an und sind längst zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor geworden: Die Welttourismusorganisation schätzt, dass im Jahr 2020 rund 700 Millionen Touristen Europa besuchen werden. 1995 waren es noch wenig mehr als 336 Millionen. Allein Deutschlands Museen zählen pro Jahr über 100 Millionen Besucher.

Doch Kulturgüter sind keine erneuerbaren Ressourcen – was einmal zerfallen oder zerstört ist, ist unwiederbringlich verloren. Sie bedürfen deshalb des bestmöglichen Schutzes. Ihre Erhaltung stellt somit auch eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe von hoher Priorität dar.

Allerdings sind die schädlichen Einwirkungen auf Kunstwerke und Kulturgüter meist derart komplex, dass ihre Konservierung nach interdisziplinären Lösungsansätzen verlangt. Gezielte Forschung und Entwicklung innovativer, nachhaltiger Technologien tragen maßgeblich zur Erhaltung des kulturellen Erbes bei. Die »Forschungsallianz Kulturerbe« koordiniert diesen Prozess und fördert den Wissenstransfer zwischen Forschung und Restaurierungspraxis. Gemeinsam setzt sich das Bündnis für



STIFTUNG PREUSSISCHER KULTURBESITZ / FOTO BILDSCHEIN

Hermann Parzinger, Präsident der Stiftung Preußischer Kulturbesitz:

»Die Sammlungen und Bestände der Stiftung Preußischer Kulturbesitz besitzen Weltrang und sind unabdingbarer Bestandteil des kulturellen Gedächtnisses. Sie machen kulturelles Schaffen aus allen Teilen der Welt erfahrbar, von den Anfängen der Menschheitsgeschichte bis zur Gegenwart. Die Stiftung agiert als Scharnier zwischen Kunst und Kultur einerseits, Forschung und Bildung andererseits. In den Museen, Bibliotheken und Archiven der Stiftung Preußischer Kulturbesitz finden sich Kulturgüter unterschiedlichster Materialien und Techniken, zu deren Erhalt dringend neue Lösungsansätze gesucht werden müssen. Mit Hilfe der Forschungsallianz Kulturerbe soll die deutsche Forschung in diesem Bereich wieder eine führende Rolle im weltweiten Vergleich erlangen.«

die dauerhafte Bewahrung von Kunst- und Kulturgütern ein – Exzellenzen werden gebündelt und Synergien genutzt. Zudem wollen die drei Allianzpartner die Bedeutung des Kulturerbes und die für die Bewahrung notwendigen Forschungsanstrengungen auf nationaler Ebene stärker im öffentlichen Bewusstsein verankern.

Im »Wissenschaftsjahr 2012« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, das ganz im Zeichen von »Rio20+«, dem 20. Jahrestag des Erdgipfels von Rio de Janeiro steht, gehen die Wissenschaftsorganisationen in Deutschland unter dem Motto »Zukunftsprojekt ERDE« einer nachhaltigen

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT



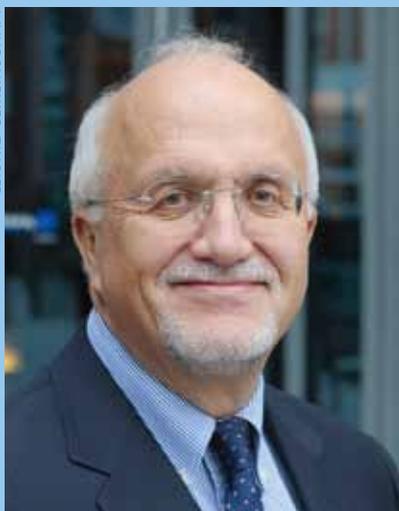
Ulrich Buller, Forschungsvorstand der Fraunhofer-Gesellschaft:

»Die immensen Herausforderungen zur Erhaltung unseres kulturellen Erbes können wir nur mit multidisziplinären Forschungsteams und durch die Entwicklung innovativer Technologien meistern. Dafür steht die Fraunhofer-Gesellschaft. Ein wichtiges Anliegen der Allianz ist zudem der Nachwuchs und die Aus- und Weiterbildung, wie sie die Fraunhofer-Gesellschaft mit den Allianzpartnern in den beiden Kompetenzzentren in Kloster Benediktbeuern und Kloster Bronnbach vorantreibt.«

Entwicklung in drei thematischen Schwerpunkten nach:

- *Anders leben* – Wie wollen wir leben?
- *Anders wirtschaften* – Wovon wollen wir leben?
- *Umwelt bewahren* – In welcher Umwelt können wir überleben?

In diesem Kontext will die »Forschungsallianz Kulturerbe« gemeinsam mit einer Vielzahl von Partnern aus Wissenschaft, Bildung, Wirtschaft und Gesellschaft die Fragen und Themen eines nachhaltigen Umgangs mit dem Kulturerbe in und mit der Öffentlichkeit diskutieren und in konkreten Projekten umsetzen. Diese Sonderpublikation soll dazu beitragen.



Karl Ulrich Mayer, Präsident der Leibniz-Gemeinschaft:

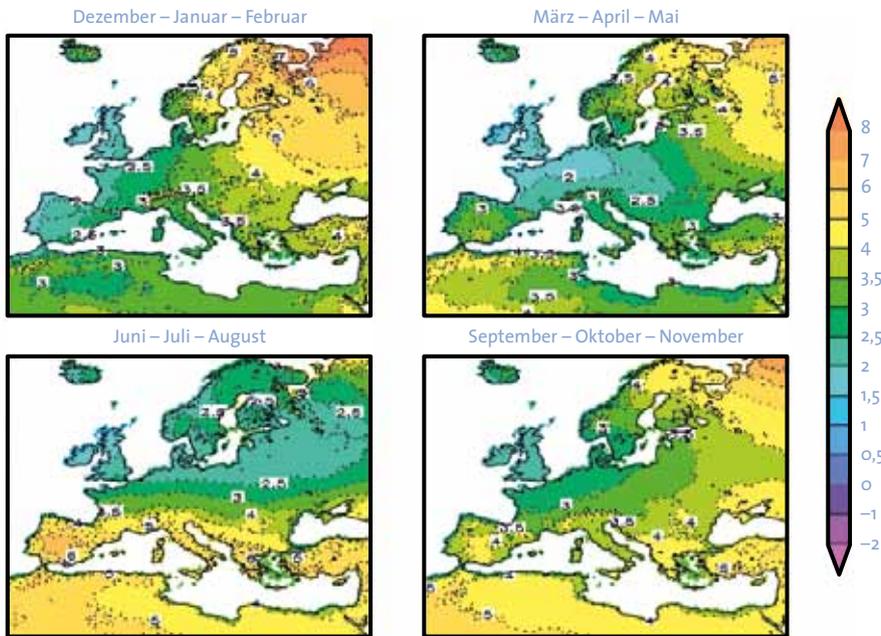
»Die Leibniz-Gemeinschaft möchte mit der Forschungsallianz als wichtigem Sprachrohr den Stellenwert der Konservierungsforschung in Politik und Öffentlichkeit verbessern. Dass seit drei Jahren die Forschungsmuseen der Leibniz-Gemeinschaft direkt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert werden, ist unter diesem Blickwinkel bedeutsam. Das Ministerium betrachtet die Forschungsmuseen als Bindeglied zwischen Wissenschaft und Gesellschaft und hebt zugleich die Forschung zur Erhaltung der Originale in den Sammlungen als entscheidende Aufgabe hervor.«

Klimawandel und Kulturerbe	4
Der globale Temperaturanstieg bedroht auch historische Bauten. Doch Forscher können berechnen, wie sich ein Gebäudeklima verändert – und so frühzeitig Schäden verhindern	
Unsichtbares sichtbar machen	6
Mit Hilfe von Terahertzstrahlen lassen sich Farbschichten durchleuchten und übermalte Wandgemälde wieder sichtbar machen	
Per Ultraschall ins Innere von Steinskulpturen	7
Steine reagieren empfindlich auf Umwelteinflüsse. Mit moderner Ultraschalltechnik können nun strukturelle Schäden im Inneren von Statuen aufgespürt werden	
David im Cyberspace	8
Wie Bernini seine Skulpturen in der Villa Borghese aufstellen ließ, ist unbekannt. Informatiker generierten daher einen virtuellen Raum, in dem naturgetreue Abbilder der Originale beliebig arrangiert werden können	
3-D-Archiv für Kunstschatze	9
Um Skulpturen, Vasen und andere Objekte in Europas Museen überall und zu jeder Zeit zugänglich zu machen, arbeiten Forscher an einem digitalen Archiv mit dreidimensionalen Scans der Kunstwerke	
Craquelé-Schäden – das Modellprojekt Kölner Dom	10
Viele historische Glasflächen sind von feinen Rissen durchzogen. Mit einem neuartigen Festiger gelingt es Wissenschaftlern, die mikroskopisch feinen Spalten zu füllen und die Gläser zu stabilisieren	
Ein Graffiti-Schild für historische Bauten	11
Ein transparenter Polymerlack schützt die Mauern historischer Bauten vor hässlichen und schädlichen Graffiti – und ist zugleich luft- und wasserdurchlässig	
Umweltfreundlich gegen Rost	12
Forscher entwickelten einen Lack, der historisch bedeutende Industrieobjekte aus Eisen und Stahl vor Korrosion schützt – ohne Zusatz von umweltschädlichen Lösemitteln	
Sauber durch Licht	13
Mit einem Laser lassen sich feinste Schmutzbeläge von Malereien sowie Kulturgütern aus Metall, Holz und Stein schadlos entfernen	
Das Puzzle aus Stasischnipseln	14
Wie können Millionen Schnipsel zerrissener Stasidokumente wieder zusammengefügt werden? Eine spezielle Software macht möglich, was per Hand eine kleine Ewigkeit dauern würde	
Ein Speicher für Jahrhunderte	15
Ungezählte historische Dokumente und Gemälde sind vom Zerfall bedroht. Doch auf Farbmikrofilm gebannt sind ihre Inhalte langfristig gesichert	
Energie sparen im Museum	16
Um den hohen Energieverbrauch besonders in älteren Museen zu drosseln, entwickeln Forscher kluge Sanierungskonzepte	
Mit Plasmen und Elektronen gegen den Verfall	17
Wissenschaftlern gelingt es mit Plasmen und beschleunigten Elektronen, angelaufene Metallobjekte zu reinigen und geschädigtes Papier zu stabilisieren	
Von der Theorie in die Praxis	18
Die Aus- und Weiterbildung von Fachleuten ist der Grundpfeiler einer dauerhaften Bewahrung unseres Kulturerbes	

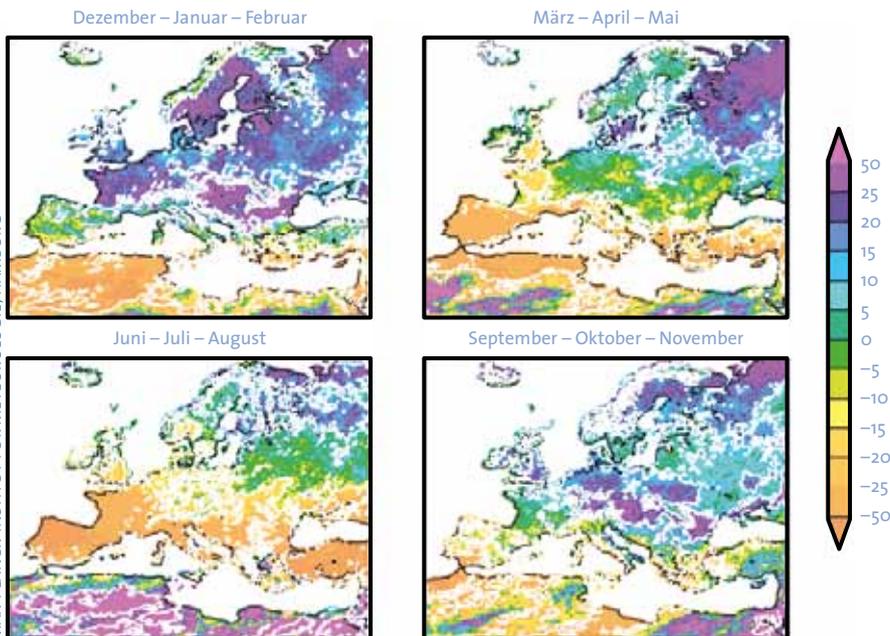
Klimawandel und Kulturerbe

Im EU-Forschungsprojekt »Climate for Culture« werden erstmals hoch aufgelöste Klimamodelle und Gebäudesimulationen gekoppelt, um die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Innenräume historischer Bauten abschätzen zu können.

Prognose der Temperaturveränderungen (°C) für den Zeitraum von 2071 bis 2100, bezogen auf die mittleren Temperaturen von 1961 bis 1990



Prognose der Niederschlagsveränderungen (%) für den Zeitraum von 2071 bis 2100, bezogen auf die mittleren Niederschläge von 1961 bis 1990



Unser bauliches Kulturerbe ist in besonderer Weise von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Denn viel stärker als in der Vergangenheit besteht die Gefahr, dass es durch rasant fortschreitende Korrosionsprozesse angegriffen wird. Korrosion stellte zwar schon immer eine Gefahr für Materialien aller Art wie auch für die Substanz historischer Gebäude dar. Aber mit dem prognostizierten weltweiten Anstieg der Temperaturen nehmen die chemischen Reaktionen, die für solche zersetzenden Prozesse verantwortlich sind, Fahrt auf. Dem liegt die exponentielle Arrhenius-Beziehung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur zu Grunde: Bei einem Anstieg um zehn Grad verdoppelt sich die Zerstörungskraft derartiger Reaktionen.

Doch nicht nur die Verwitterung baulicher Substanz nimmt mit dem Klimawandel zu. In Küstennähe, etwa im italienischen Venedig oder im ägyptischen Alexandria, wächst die Bedrohung durch den steigenden Meeresspiegel. Allgemein erhöht sich das Risiko, dass Bauten in ihrer Struktur oder an ihrer Außenseite von Überflutungen, Stürmen oder Starkregen schwerer beschädigt werden als bisher.

Mit welchen Strategien kann es gelingen, die zunehmende Zerstörungsgefahr abzu-

Auf der Basis von Klimamodellen simulierten Forscher die Entwicklung der mittleren Temperaturen (oben) und Niederschläge (unten) für die Zeit von 2071 bis 2100 – und verglichen die Daten mit den zwischen 1961 und 1990 gemessenen Werten. Ergebnis: Es wird durchschnittlich weniger regnen – aber dafür häufig umso stärker – und deutlich wärmer werden. Das bringt auch unser Kulturerbe in Gefahr.

wenden? Und: Was wird es uns kosten, wenn wir nicht rechtzeitig auf den Klimawandel reagieren? Das sind die zentralen Fragen des Forschungsprojekts »Climate for Culture«, in dem – maßgeblich mit rund fünf Millionen Euro von der Europäischen Union gefördert – 30 Partner aus 16 Nationen in Europa und Nordafrika zusammenarbeiten, um erstmals Klima- und Gebäudesimulationsmodelle miteinander zu verknüpfen. Denn regional hoch aufgelöste Klimamodelle einerseits und hygrothermische Gebäude- modelle andererseits, mit denen die Auswirkungen von Wärme, Feuchtigkeit und Wasserdampf auf die Bausubstanz erfasst werden können, sind verfügbar – aber sie existieren bislang unverbunden nebeneinander.

Zum Beispiel lässt sich in hygrothermischen Simulationen abbilden, wie Tausende von Touristen bei ihrem Besuch der bayerischen Königsschlösser von Ludwig II. Feuchtigkeit in die Gebäude bringen und auf diese Weise zu deren Zerstörung durch Schimmelbildung beitragen. In der Koppelung mit einem hoch aufgelösten Klimamodell können die Wissenschaftler nun die Veränderungen durch den Feuchtigkeitseintrag abschätzen, der im Zuge des Klimawandels zu erwarten ist.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt hat das Team aus Chemikern, Physikern, Meteorologen, Ozeanografen, Restauratoren, IT-Spezialisten, Wirtschaftswissenschaftlern, Kunsthistorikern und Biologen schon nachweisen können, dass es wie geplant möglich ist, Klimamodellierung und Gebäudesimulationsmodelle miteinander zu verbinden – und so Trends in der Entwicklung der Mikroklimata in Gebäuden bis zum Jahr 2099 vorhergesagt werden können. Dieser Erfolg weist weit über die unmittelbaren Projektziele hinaus, denn die Methode lässt sich künftig auf Gebäude aller Art anwenden. Während der fünfjährigen Laufzeit des Projekts stehen von 2009 bis 2014 ausgewählte europäische und nordafrikanische UNESCO-Weltkulturerbestätten wie das Schloss Schönbrunn in Wien, die Pyramiden von Sakkara in Ägypten oder die Stadt Venedig beispielhaft im Zentrum der wissenschaftlichen Untersuchungen.

Im Ergebnis erwarten die Forscher, Schadenswirkungen neu definieren zu können – und vor allem auf der Basis einer im Projekt entstehenden leistungsfähigen Software-



Glasdosimeter zeichnet Umgebungsbedingungen auf

Ein Monitoring der Temperatur und der relativen Luftfeuchte zum grundlegenden Schutz von Kulturgütern gilt heutzutage als Standard. Handelsübliche Systeme zur Bestimmung von Umwelteinflüssen zeigen allerdings in der Regel nur die jeweils aktuell vorherrschenden Bedingungen an. Um effiziente Schutzmaßnahmen einzuleiten, ist es aber erforderlich, die Umgebungseinflüsse über einen längeren Zeitraum hinweg zu messen. Auf diese Weise lässt sich auch das korrosive Potenzial kleinerer Schadstoffmengen in Wechselwirkung mit Temperatur und Feuchtigkeit erfassen.

Ein Glasdosimeter, das vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg im Rahmen des EU-Forschungsprojekts »Assessment and Monitoring of the Environment of Cultural Property« Mitte der 1990er Jahre entwickelt wurde, erfüllt all diese Anforderungen. Dabei reagieren verschiedene Glasverbindungen unterschiedlich empfindlich auf Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftschadstoffe oder organische Säuren wie beispielsweise Essigsäure – das Glas beginnt sukzessive zu korrodieren. Natrium- und Calciumionen werden ausgelagert, und auf der Oberfläche bildet sich eine wasserhaltige Gelschicht. Mittels der Fourier-Transformations-Infrarotspektrometrie lässt sich dann anhand der Zunahme der Wassereinlagerung das korrosive Potenzial der Umgebungsbedingungen messen.

Hat sich nach dem Expositionszeitraum – in der Regel zwischen drei und sechs Monaten – nur eine sehr dünne Schicht mit wenig eingelagertem Wasser gebildet, dann ist die Umgebung für die Aufbewahrung von Kunst- und Archivgut geeignet. Wird hingegen eine dicke Schicht nachgewiesen, dann sind die Aufstellungs- oder Lagerbedingungen nicht optimal.

plattform frühzeitig Strategien zur Schadensverhinderung anzugehen. Dazu werden auch die Ergebnisse von EU-Vorläuferprojekten zur Nachhaltigkeitsentwicklung und zur Energieeffizienz zu Grunde gelegt.

Um schließlich zu gewährleisten, dass die Ergebnisse von »Climate for Culture« umfassend zur Neubewertung bestehender Klimaschutzstrategien herangezogen werden und das neue Wissen überdies in die Praxis zur Erhaltung und Restaurierung von Kirchen, Burgen, Bibliotheken oder Archiven in unterschiedlichen Klimazonen Europas und des Mittelmeerraums transferiert wird, treffen die Projektmitglieder entsprechende organisatorische Vorkehrungen. Zudem hat

sich »Climate for Culture« zum Ziel gesetzt, die zusätzlichen Kosten für die Erhaltung von Kunst- und Kulturgut in Europa abzuschätzen – in Analogie zu dem im Jahr 2006 veröffentlichten »Stern-Bericht«, der eine allgemeine Kostenkalkulation zum Klimawandel abgab.

Auf der politischen Ebene streben die Teilnehmer des EU-Projekts an, dass in künftigen Berichten des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) explizit auf die Gefahr des Klimawandels für das Kulturerbe hingewiesen und seine Erhaltung als ein integraler Bestandteil in die Nachhaltigkeitsstrategien der nationalen Regierungen und der EU-Kommission aufgenommen wird.

Unsichtbares sichtbar machen

Übermalte Wandgemälde galten lange Zeit als unwiederbringlich verloren. Mit Terahertzstrahlen wollen Forscher solche verborgenen Kunstwerke jetzt zerstörungsfrei »enthüllen«.

Viele Kirchengemälde bleiben der Nachwelt verborgen, weil sie im Lauf der Jahrhunderte übermalt wurden. Vor allem im 16. Jahrhundert verdeckten reformatorische Bilderstürmer religiöse Malereien. Deshalb liegen heute oftmals Fassungen aus unterschiedlichen Epochen in mehreren Schichten übereinander.

Wollte man die verdeckten Gemälde mit mechanischen Methoden frei legen, bestünde die Gefahr, das Originalwerk zu beschädigen. Aber auch jüngere, ebenfalls erhaltenswerte Schichten über dem Original würden dabei zerstört. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden haben sich deshalb zum Ziel gesetzt, solche verborgenen Malereien mit einer zerstörungsfreien Methode sichtbar zu machen. Dabei setzen die Experten auf die Terahertz (THz)-Strahlung. In dem Projekt »TERAART« – gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung – arbeiten sie mit der TU Dresden, dem Forschungsinstitut für Denkmalpflege und Archäometrie in Potsdam sowie der Dresdner Hochschule für Bildende Künste zusammen.

THz-Strahlung schließt eine diagnostische Lücke: Ihr Frequenzbereich im elektromagnetischen Spektrum liegt mit 300 Gigahertz bis etwa drei THz unterhalb des sichtbaren Lichts und des Infrarotbereichs, jedoch oberhalb der Mikrowellen. Die Wellenlängen der THz-Strahlen reichen entsprechend von etwa einem Millimeter bis hinunter zu 100 Mikrometern. Infrarotstrahlen können die Wissenschaftler in dem Vorhaben nicht nutzen, da deren Eindringtiefe zu gering ist. Auch Mikrowellen sind keine Alternative, denn sie erreichen unter anderem nicht das nötige Auflösungsvermögen.

Weithin bekannt wurden THz-Strahlen im Zusammenhang mit neuartigen Scannern für die Sicherheitskontrolle an Flughäfen. Die Strahlen können aber nicht nur Kleidung problem- und gefahrlos durchdringen,

sondern auch Tünche oder Wandputz, selbst wenn diese Schicht relativ dick ist. Anders als beispielsweise von UV-Strahlung geht zudem von THz-Strahlung keine Gefahr für das darunterliegende Kunstwerk aus.

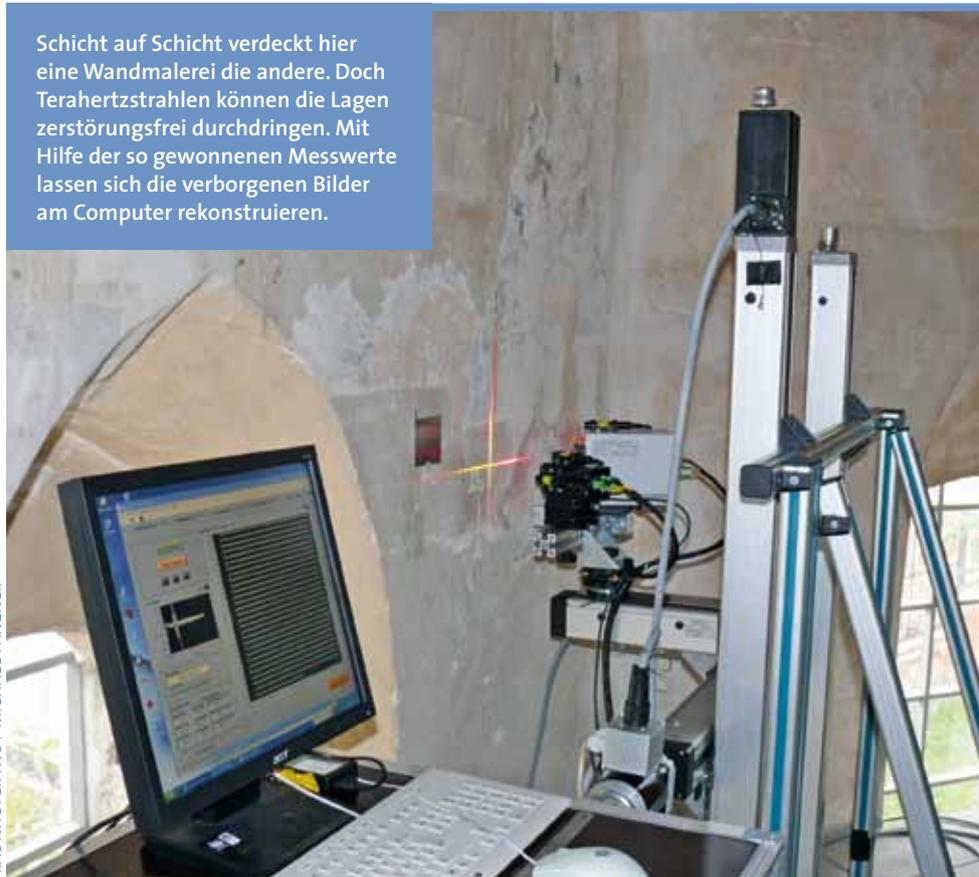
Für die Untersuchungen wurde ein mobiles, außerhalb von Labors einsetzbares System entwickelt. Es besteht aus einem Scanner mit zwei Messköpfen, der die Wand kontaktfrei abfährt. Ein Messkopf sendet die Strahlung aus, der andere empfängt die reflektierten Strahlen. Jede Schicht und jedes Pigment sendet diese THz-Pulse anders zurück, so dass sowohl ein Bildkontrast als auch eine Tiefeninformation gewonnen werden können. Die Messergebnisse geben zum Beispiel Auskunft über die Dicke der

Schichten, um welche Farben es sich handelt und wie sie angeordnet sind. Eine eigens entwickelte Software setzt schließlich die Messdaten zu einem Bild zusammen, das die Struktur der verborgenen Malereien darstellt.

Das Potenzial der THz-Strahlung scheint damit aber längst noch nicht ausgeschöpft: Die Experten sind sich sicher, mit ihr außerdem Krebs erregende Biozide an und in Kunstobjekten aus Holz oder Textilien nachweisen zu können. Wegen der hochgradig giftigen Wirkung dieser Substanzen sollten sie bei anstehenden Restaurierungen möglichst entfernt werden. Der zerstörungsfreie Nachweis organischer Biozide ist bislang allerdings noch sehr schwierig.

Schicht auf Schicht verdeckt hier eine Wandmalerei die andere. Doch Terahertzstrahlen können die Lagen zerstörungsfrei durchdringen. Mit Hilfe der so gewonnenen Messwerte lassen sich die verborgenen Bilder am Computer rekonstruieren.

FRAUNHOFER IWS / MICHAEL PANZNER



Per Ultraschall ins Innere von Steinskulpturen

Marmor und andere Gesteine sind anfällig für Umwelteinflüsse wie Schadstoffe oder starke Temperaturschwankungen. Um Schäden besser erkennen und beheben zu können – und um letztlich Naturstein optimal zu konservieren –, erproben Forscher die Anwendung moderner medizinischer Ultraschalltechnik.

Seit der Antike dient Marmor als Baumaterial und zur Gestaltung von Kunstobjekten – und in diesem Zusammenhang ist er Teil unseres kulturellen Erbes geworden. Marmor besteht überwiegend aus den calciumhaltigen Mineralen Calcit oder Dolomit und entstand unter Hitze sowie hohem tektonischem Druck. Doch auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung können Schadstoffe, vor allem Säuren, dem Gestein empfindlich zusetzen. Deshalb haben sich seit Beginn der Industrialisierung Schädigungen, etwa durch sauren Regen, beschleunigt.

Um Statuen und Denkmäler aus Marmor oder anderen Gesteinsarten erfolgreich konservieren und restaurieren zu können, muss der Zustand des Materials genau bekannt sein. Eine zuverlässige Prüfung gelingt zwar mit verschiedenen zerstörungsfrei arbeitenden Ultraschalltechniken aus der Werkstoffforschung, doch sind diese allesamt umständlich zu handhaben. Zudem erzeugen sie keine Bilder für eine visuelle Schadensdiagnose.

Hier setzt ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördertes Projekt an: Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts

Die Stifterfiguren im Naumburger Dom zählen zu den bedeutendsten Werken der deutschen Frühgotik. Um sicherzustellen, dass die rund 750 Jahre alten Sandsteinstatuen keine strukturellen Schäden aufweisen, durchleuchten Forscher sie mit Ultraschall.

für Biomedizinische Technik IBMT versuchen gemeinsam mit ihren Kollegen des Rathgen-Forschungslabors der Staatlichen Museen zu Berlin zu klären, inwieweit moderne Ultraschallsysteme aus der Medizintechnik zur Analyse von Steinschädigungen herangezogen werden können. Deren Anwendbarkeit in der Restaurierung von solchen Denkmälern wäre ein enormer Innovationssprung, denn sie erzeugen nicht nur Bilder, sondern können das Innere von Objekten auch dreidimensional abbilden.

In der modernen medizinischen Diagnostik arbeiten fast alle Ultraschallsysteme mit der so genannten Phased-Array-Technik.

HOCHSCHULE FÜR BILDENDE KÜNSTE DRESDEN / RATHGEN-FORSCHUNGSLABOR



Die dabei verwendeten Ultraschallwandler bestehen aus einzelnen Elementen, die getrennt voneinander angeregt und ausgelesen werden können. Indem die Elemente zu unterschiedlichen Zeitpunkten Schallimpulse verschiedener Intensität aussenden, wird der Fokus einer Schallkeule in einer Schnittebene elektronisch bewegt und erlaubt so die Abbildung der Ebene.

Diese aus der Medizintechnik bekannte Technologie modifizieren die Forscher für die geplante Untersuchung von Skulpturen und Fassaden aus Stein und kombinieren sie mit einem Tracking-System, das die Koordinaten einzelner Scans erfasst. Anschließend lassen sich die so gewonnenen Einzelbilder zu einer dreidimensionalen Darstellung zusammenfügen. Dieses technologische Konzept ermöglicht es, handliche Geräte zu konstruieren, die tragbar sind und somit ortsunabhängig und flexibel eingesetzt werden können.

David im Cyberspace

Moderne Medientechnologien ermöglichen es, in einem virtuellen Rundgang die Villa Borghese zu durchwandern, 3-D-Modelle der Skulpturen Berninis zu studieren und sie im Raum zu verschieben.



Für Kardinal Borghese schuf Bernini 1623/24 die Statue des David. Ihre genaue Aufstellung in dessen Villa ist unbekannt. Doch virtuell lassen sich verschiedene Positionen in historischem Ambiente darstellen.

FRAUNHOFER IAIS

Die Ausdruckskraft von Skulpturen erfassen Museumsbesucher nur, wenn sie die Statuen von allen Seiten betrachten können. Ganz besonders gilt dies für die Werke des in Neapel geborenen Barockkünstlers Giovanni Lorenzo Bernini (1598–1680). So verharrt seine weltberühmte Figur des David, anders als bei Michelangelo, nicht in aufrechter, ernst-besonnener Pose – vielmehr gelang es Bernini, den dramatischen Augenblick einer Bewegung aus dem Marmorblock zu meißeln: Davids grimmig-konzentrierter Gesichtsausdruck, seine angespannten Muskeln, der zur Seite geneigte Rumpf und die Arme, die mit der Steinschleuder in den Händen Schwung gegen Goliath holen. Diese ganze Dynamik kann der Betrachter nur erkennen, wenn er um die Figur herumgeht.

Aus diesem Grund sind die vier Skulpturen, die Bernini für die Villa Borghese in Rom schuf, besonders gut geeignet, um sie mit Hilfe von computergrafischen Verfahren dreidimensional nachzubilden und im virtuellen Raum darzustellen. Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Projekt, an dem das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin, die Universität Siegen und die Galleria Borghese

in Rom beteiligt waren, hatte sich zum Ziel gesetzt, die Anwendung moderner Medientechnologien für die Kunstwissenschaft zu testen – und zu untersuchen, wie sie die Wahrnehmung verändern. Überdies sollten Kunsthistoriker ein Instrument bekommen, um Berninis Schaffen besser einordnen und deuten zu können.

Daher musste die virtuelle Nachbildung der Skulpturen so detailgetreu und realistisch sein, dass sie den Ansprüchen einer kunsthistorischen Analyse genügt. Dazu wurde die Figur zunächst mit Hilfe eines mobilen 3-D-Scanners erfasst: Dieser projizierte ein Gitterraster auf Abschnitte und fotografierte die Statue Stück für Stück ab. Durch die Krümmungen der Skulptur verzerrt, lieferte das Raster 3-D-Informationen, aus denen der Computer jede Wölbung und jede Vertiefung errechnen konnte.

Aus mehreren tausend Bildern entstand dann ein dreidimensionales Modell. Als besonders schwierig erwies es sich, die Marmortextur über das virtuelle Bildwerk zu legen. Kristallines Gestein hat nämlich die Eigenschaft, das Licht nicht nur an seiner Oberfläche, sondern auch in den Kristallschichten darunter zu reflektieren. Um dieses Reflexionsverhalten korrekt zu simulie-

ren, entwickelten die Informatiker ein komplexes Generierungsmodell.

Körper im Kontext von Raum, Perspektive, Licht und Schatten sind ein wesentliches Gestaltungselement des Barock. Niemand weiß, wie Bernini das Skulpturenensemble ursprünglich in der Villa Borghese arrangierte – ein Rätsel, das Kunstwissenschaftler lösen möchten. Die Räume selbst wurden seit dem 16. Jahrhundert immer wieder umgestaltet. Anhand zeitgenössischer Beschreibungen modellierten die Forscher die Villa am Computer so nach, wie sie einmal ausgesehen haben könnte.

In dieser virtuellen Realität präsentierten sie die computergenerierten Figuren. Ausgestattet mit einer Brille für die Stereoprojektion und einem »Personal Digital Assistant« kann sich der Nutzer im Cyberspace bewegen und die Skulpturen von verschiedenen Seiten betrachten. Vor allem aber bietet der virtuelle Raum eine Erfahrung, die im Museum unmöglich ist: Der Besucher kann die »schweren« Marmorskulpturen verschieben, andere Positionen bei stets neu berechneter Beleuchtung ausprobieren und die jeweilige Raumwirkung vergleichen. Gestaltungsprinzipien des 17. Jahrhunderts und die Sichtweise Berninis lassen sich so nachvollziehen.

3-D-Archiv für Kunstschatze

Im Rahmen eines europäischen Projekts bringen Forscher ein digitales Archiv auf den Weg, in dem Kunstobjekte dreidimensional erfasst werden und dauerhaft virtuell erhalten bleiben – zur Freude von Laien und zum Nutzen der Fachwelt.

Kunstliebhaber und Forscher müssen miteinander um die ganze Welt reisen, um in einem Museum das Objekt ihres Interesses zu bewundern oder zu studieren. Noch dazu lagert eine Vielzahl der Kulturgüter, unzugänglich für Besucher, in den Kellern der Museen. Gemälde lassen sich immerhin leicht fotografieren und so in Büchern oder im Internet darstellen. Damit auch dreidimensionale Objekte wie Skulpturen, Vasen, Waffen oder ganze Tempelruinen einmal von allen Seiten am Computerbildschirm betrachtet werden können, entwickeln Forscher im EU-Projekt »3D-COFORM« (Tools and Expertise for 3D Collection Formation) eine entsprechende Datenbank. Das Archiv wird über das Internet zugänglich sein und auch 3-D-Modelle sowie deren Metadaten zu der virtuellen Bibliothek »Europeana« (European Digital Library) beitragen.

Neben interessierten Laien sollen vor allem Wissenschaftler von der digitalen Sammlung profitieren. Sie erhalten neue Möglichkeiten der Dokumentation und können ihre Thesen und Methoden mit denen von Kollegen abgleichen und überprüfen. Auch werden zusätzliche multimediale Informationen wie Bilder, Videos und Texte die 3-D-Modelle ergänzen.

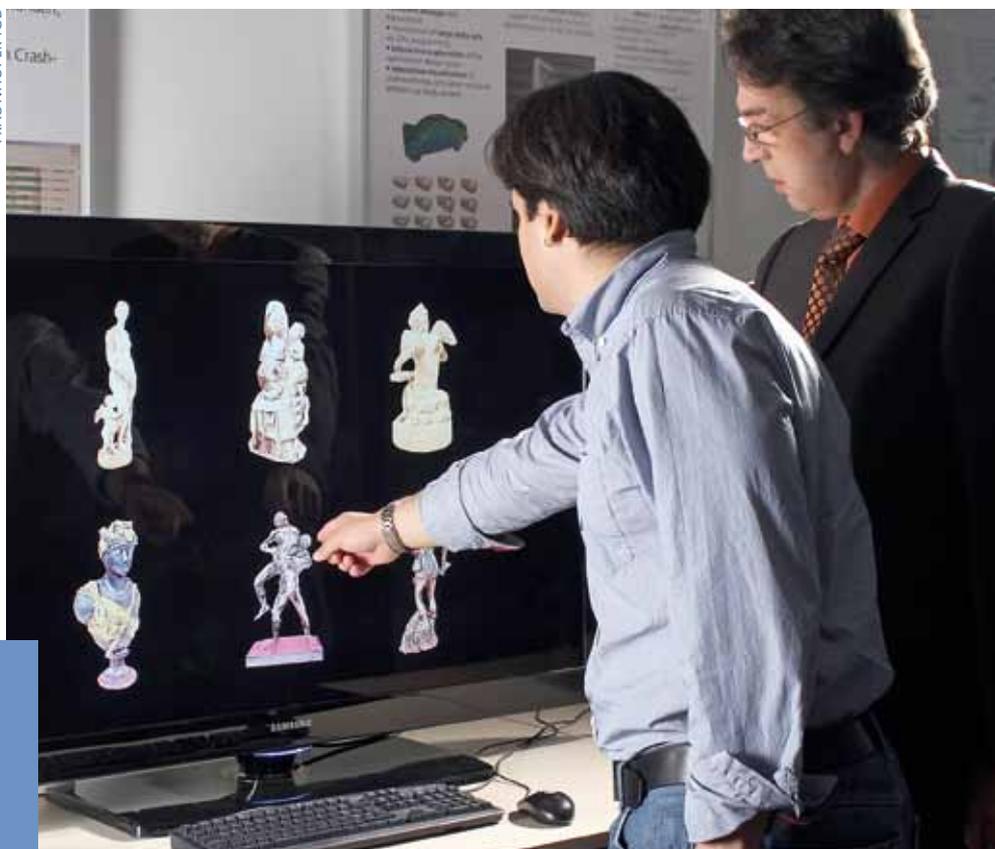
Eine spezielle Suchmaschine soll es zudem möglich machen, gezielt Kulturgüter in der Datenbank zu finden. Mit ihrer Hilfe las-

sen sich sogar bestimmte Merkmale wie Material, Oberflächenbeschaffenheit, Farben oder Muster abfragen, um Vergleichsobjekte in den europaweit verteilten Museen aufzuspüren und Zusammenhänge herzustellen. So können Wissenschaftler zum Beispiel Stile vergleichen, können klären, ob Vasen, die nur in Bruchstücken erhalten sind, die gleiche Herkunft haben oder ob an einer Ausgrabungsstätte frei gelegte Mauerreste zu ein und demselben Gebäude gehören. Selbst der Verlauf einer Grabung lässt sich nachzeichnen.

Damit all dies möglich ist, sind große Anstrengungen nötig. Die Forscher müssen jedes einzelne Kulturobjekt scannen und digital aufbereiten, die multimedialen Zusatzinformationen in die jeweilige Datei integrieren, die Algorithmen für die Suchmaschine entwickeln und die Internetnutzung der Datenbank so alltagstauglich machen, dass Wissenschaftler aus dem Kulturbetrieb sie auch anwenden.

Dafür bedarf es einer engen Kooperation von Informatikspezialisten mit Kuratoren und wissenschaftlichen Mitarbeitern aus den Museen, die einerseits über die Objekte verfügen, andererseits auch die kulturwissenschaftlichen Fragestellungen und Bedürfnisse der professionellen Nutzer kennen. Im Projekt »3D-COFORM« arbeiten Fachleute aus Großbritannien, Italien, Griechenland, Belgien, der Schweiz, Österreich, Frankreich, Ägypten, Zypern und Deutschland. Koordinatoren sind die University of Brighton und, für die technische Seite, das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt. Bis zum Ende der Förderung 2012 wollen die Beteiligten den Umfang und die Alternativen demonstrieren, die das digitale Archiv eröffnet.

FRAUNHOFER IGD



Wie diese bereits digitalisierten Exponate aus dem Victoria and Albert Museum in London möchten Forscher weltweit noch mehr Sammlungsstücke dreidimensional erfassen – und in einem Onlinearchiv für jedermann zugänglich machen.



Nur 13 von ehemals 28 Fenstern des »Welter-Zyklus« im Kölner Dom überstanden den Zweiten Weltkrieg. Doch die gut 150 Jahre alten Glasmalereien sind stark restaurierungsbedürftig – feine Risse destabilisieren die Gläser.

1860er und 1870er Jahren nach Entwürfen des Kölner Malers Michael Welter für die 28 Fenster der Hochwände des Quer- und des Langhauses. Nur ein Teil dieser Fenster hat den Zweiten Weltkrieg überdauert, und zwei von ihnen weisen heute massive Schäden durch Craquelé auf. Alle bekannten Restaurierungsverfahren haben bislang versagt.

Damit nun diese Kunstschätze im Weltkulturerbe Kölner Dom ihren angestammten Platz in 27 Meter Höhe sicher wieder einnehmen können, erproben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Silicatiforschung ISC in Würzburg, Außenstelle Bronnbach, im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Modellprojekts zurzeit zwei Rettungsmethoden.

Ein eher schon klassisch anmutendes Verfahren setzt darauf, die besonders stark gefährdeten Glasstücke mit transparenten, sehr feinen Glasfaservliesen zu hinterlegen und auf diese Weise zu stabilisieren.

Die Forscher des ISC-Fachbereichs Kulturgüterschutz untersuchen zudem einen zweiten, innovativen Weg: Sie entwickelten eine hydroaktive Flüssigkeit, mit der sie bereits an zahlreichen Proben aufzeigen konnten, wie dieser Festiger Craquelé-Schäden im Nanomaßstab konsolidiert. Ein dünnflüssiger, molekular verteilter Aluminiumkomplex dringt dabei zunächst tief in die feinen Rissstrukturen ein und verklebt die Spaltenränder mit einem Netzwerk aus Aluminiumhydroxid. Wird das Glas anschließend der normalen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt, wandelt sich der Kleber allmählich um. Zurück bleibt ein mikroporöses, anorganisches Gerüst aus Aluminiumoxid. Abschließend sorgt ein thermodynamisch getriebener Diffusionsprozess dafür, dass nach und nach Ionen aus dem umgebenden Glas in die Lücken dieses anorganischen Gerüsts wandern – bis sich als Ergebnis des Prozesses die Craquelé-Risse wieder gefüllt haben.

Craquelé-Schäden – das Modellprojekt Kölner Dom

Mit Hilfe eines neuartigen Festigers auf Basis einer nanoporösen Glasphase lassen sich selbst feinste Risse in historischen Gläsern stabilisieren und auf diese Weise etwa Glasmalereien nachhaltig schützen.

Obgleich auch seit Jahrhunderten Kirchen mit farbigen Fenstern ausgestattet wurden, so hat doch nur ein Bruchteil von ihnen die Zeiten überdauert. Von den Verglasungen repräsentativer Profanbauten blieb noch weniger erhalten. Es gab Kriege und damit verbundene Verwüstungen, oder die Geschmäcker wandelten sich, und man ersetzte Altes durch Neues. Aber so traurig es ist – auch in der materiellen Beschaffenheit der Kunstwerke liegt eine wesentliche Ursache für ihren Verlust, ebenso wie in Schäden, die durch Umweltbelastungen hervorgerufen werden.

Ein besonderes Schadensbild farbiger Glasfenster aus zurückliegenden Jahrhunderten ist ein selbst mit bloßem Auge sichtbares Netz mehr oder weniger feiner Risse: so genanntes Craquelé auf der Oberfläche

und im Glas, das eine veränderte Transparenz des Fensters zur Folge hat. Die Ursache ist noch weit gehend unbekannt. Viele dieser Mikrorisse dringen tief in das Glas ein und können es destabilisieren. Man weiß inzwischen, dass sowohl einige alte Gläser als auch manche Glasmalfarben auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung empfindlich auf Schadstoffe sowie Feuchtigkeit reagieren und so Craquelé-Schäden entstehen können. Doch ebenso dürften Spannungen im Material, die während des Herstellungsprozesses infolge falscher Wärmebehandlung quasi im Glas eingefroren wurden, zur Rissbildung beitragen.

Betroffen von Craquelé sind auch die Fenster aus dem Welter-Zyklus des Kölner Doms. Diese ursprünglich 112 Standfiguren umfassende Verglasung entstand in den

Ein Graffitischirm für historische Bauten

Graffiti bedrohen zunehmend unser Kulturerbe. Ein neuartiges Verfahren hilft, geschützte Baudenkmäler vor den Farben der Sprayer zu bewahren.

Die »Street Art« der Graffiti-Künstler genießt, sofern ambitioniert, inzwischen weltweit Ansehen. Nicht alle Malereien sind indes künstlerisch wertvoll, und auf Baudenkmalen haben sie ganz gewiss nichts zu suchen. Trotzdem verschandeln Graffiti in europäischen Städten 3,5 Millionen geschützte Bauten: nicht nur ein Ärgernis für alle Bürger, sondern für Denkmalpfleger und Handwerker auch ein riesiges – und kostspieliges – Problem. Historische Bausubstanz besteht häufig aus Natursteinen oder Ziegeln mit poröser Oberfläche, in die Farben tief eindringen. Selbst Hochdruckreiniger oder Lösungsmittel werden mit den Pigmenten kaum fertig. So bleibt meist nichts anderes übrig, als die Außenschicht des Bauwerks wegzuzütseln oder sich mit den Graffiti abzufinden – im Sinn des Denkmalschutzes ist weder das eine noch das andere.

Da ist es besser, Schäden vorzubeugen. Zum Schutz der Fassaden gibt es seit einiger Zeit permanente polymere Sperrschichten: Der Wasser abweisende Lack verschließt die Poren, die Sprühfarbe haftet nur schwer und lässt sich so leicht wieder abwaschen. Der

Nachteil allerdings ist, dass die Versiegelung der Poren die Kapillartrocknung des Steinmaterials unterbindet. Schimmel oder Versalzung sind die Folge. Eine optimale Schutzschicht müsste daher widersprüchliche Anforderungen erfüllen: Sie sollte gut haften und Licht, Regen sowie mechanischer Reinigung trotzen, sich aber wenn nötig leicht wieder entfernen lassen, ohne die Bausubstanz in Mitleidenschaft zu ziehen; sie sollte durchlässig für Luft und Wasserdampf sein, aber die Farben der Sprayer abweisen. Und zu guter Letzt sollte sie noch unsichtbar bleiben.

Ein Team von Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam und des Zentrums für Polymer- und Kunststoffmaterialien der Polnischen Akademie der Wissenschaften (CMPW-PAN) haben nun im Rahmen des dreijährigen, EU-geförderten Projekts »Graffiti« einen neuen schaltbaren Polymerlack entwickelt, der all das kann. Der Film verschließt zwar die Poren, so dass die Farbe keine Chance hat einzudringen und sich wieder entfernen lässt – zugleich aber ist er se-

mipermeabel, das heißt teildurchlässig. Die Wasser abweisende Schicht, die das Polymer an der Oberfläche bildet, weist winzige Poren auf. Diese sind zu klein für Farbpigmente und Regenwasser, aber groß genug, um Wasserdampf passieren zu lassen. Wenn die Schutzschicht weichen muss, etwa wenn Restaurierungsarbeiten anstehen, behandelt man sie mit einer speziellen wässrigen Reinigungslösung. Der sonst dauerhafte, so aber chemisch veränderte Film lässt sich nun leicht abwaschen.

Erste Bewährungsproben hat das neue Polymer bereits bestanden. Die spanische Fundación LABEIN und die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM koordinierten eine Reihe von Tests. Spanischer und slowenischer Sandstein, belgischer Kalkstein, italienischer Travertin und deutscher Baumberger Sandstein wurden allesamt mit dem Schutzlack versehen und danach mit gleich mehreren Schichten Graffiti-farbe bemalt, um den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen. Ergebnis: Von allen Gesteinsarten ließ sich die Farbe gut entfernen. Der Polymerlack ist inzwischen patentiert und soll nun von Lizenznehmern vermarktet werden. Derzeit entwickelt das Fraunhofer IAP zusammen mit der CMPW-PAN und Tecnalia in Bilbao im Rahmen des EU-geförderten Projekts »Effaceur« die Produktion des Überzugs im technischen Maßstab.

Künftig lassen sich Graffiti völlig schadensfrei von Kulturdenkmälern entfernen: Eine stabile und atmungsaktive, aber bei Bedarf wieder entfernbare Polymer-schicht verhindert, dass die Farbe in den Untergrund einzieht.



Umweltfreundlich gegen Rost

Im EU-Projekt »CONSIST« entwickelten Wissenschaftler eine Schutzschicht, die Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl vor Korrosion bewahrt. Der Clou: Das Konservierungsverfahren ist besonders umweltverträglich.

Die Essener Zeche Zollverein, die Völklinger Hütte, das Erzbergwerk Rammelsberg und die Fagus-Werke bei Hannover: Allein in Deutschland haben es vier Industriedenkmäler auf die Liste des UNESCO-Weltkulturerbes geschafft. Doch auch viele andere sind längst nicht mehr bloße Relikte einer schmutzigen Industriegeschichte, sondern geschützte Erinnerungsorte an ein Zeitalter, in dem sie Motor des Fortschritts waren und das unseren Alltag sowie einzelne Regionen veränderte wie kein anderes zuvor. Viele von ihnen werden neu genutzt, zum Beispiel als Museen oder Kulturstätten. Ihre Erhaltung ist allerdings eine große Herausforderung und steht im Mittelpunkt einer noch jungen Wissenschaftsdisziplin.

Neben Schäden durch strukturelle Schwächen, Vandalismus und Diebstahl macht vor allem der Rost den Industriebauwerken zu

schaffen, waren ihre wichtigsten Baustoffe doch Eisen und Stahl. Die Philosophie der Konservierung besteht darin, die Substanz der Anlagen so zu erhalten, dass sie nicht wie neu aussehen, sondern die Spuren ihres Gebrauchslebens unverfälscht dokumentieren. Ein Restrostbelag auf den Metallteilen gehört daher zur charakteristischen »Patina« dieser historischen Monumente. Vor weiterer Korrosion kann eine Beschichtung schützen. Ein solcher Überzug soll transparent, möglichst dauerhaft und zugleich reversibel sein – das heißt, er muss sich bei Bedarf wieder entfernen lassen. Viele Korrosionsschutzprodukte erfüllen diese Anforderungen schon jetzt, haben aber einen großen Nachteil: Sie enthalten umweltbelastende organische Lösemittel.

Das EU-Projekt »CONSIST« (Comparison of Conservation Materials and Strategies for

Sustainable Exploitation of Immovable Industrial Cultural Heritage made of Iron and Steel), an dem neben dem deutschen Koordinator, dem Fraunhofer-Institut für Silicatformforschung ISC, und dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum weitere Partner aus Deutschland, Polen und Großbritannien beteiligt waren, hatte zum Ziel, Schutzsysteme ohne die schädlichen Lösemittel zu finden. Für die Fraunhofer-Forscher am ISC lag es nahe, die Formel der von ihnen entwickelten, jedoch lösemittelhaltigen Ormocer®-Lacke entsprechend zu verändern, da sie sich als Korrosionsschutz in Pilotanwendungen bereits bestens bewährt hatten. Tatsächlich gelang es, einen Hybridtyp zu synthetisieren, der sich mit Wasser statt Lösemitteln verdünnen lässt.

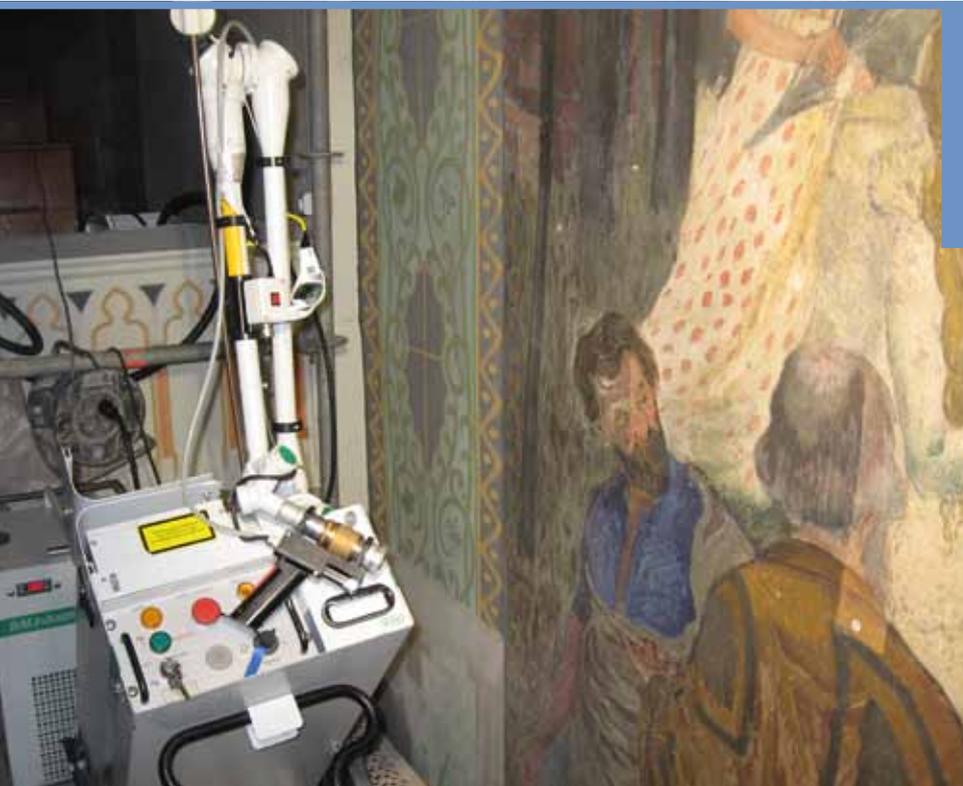
Dann verglichen die Forscher die Wirksamkeit der neuen wasserbasierten Ormocer®e mit der handelsüblicher Schutzbeschichtungen. Drei typische Vertreter des technischen Kulturerbes wählten sie für eine Testreihe aus: den Wagenpark eines polnischen Eisenbahnmuseums, gusseiserne Treppen irischer Herrenhäuser sowie Ausrüstungsteile des Anschauungsbergwerks im Deutschen Bergbau-Museum. Nach Untersuchungen an Probeblechen im Labor mussten sich die Beschichtungsmaterialien an Testflächen unter realen Bedingungen bewähren.

Das Ergebnis: Zwar erreichen die neuen Ormocer®e noch nicht die Qualität der klassischen Lacke und anderer Beschichtungsmaterialien auf Lösemittelbasis, und auch ihre Handhabung ist noch verbesserungsbedürftig; doch zeigen sie eine gute Schutzwirkung. Auf dem Weg zu einem Schutzsystem mit guten Umwelteigenschaften sind die Wissenschaftler, Konservatoren und Restauratoren damit einen großen Schritt vorgekommen.



Die letzten 200 Jahre haben an der gusseisernen Treppe eines irischen Herrenhauses ihre Spuren hinterlassen. Ein Schutzlack kann die Korrosion stoppen und – daran arbeiten Forscher – auch umweltfreundlich sein.

NAYLOR CONSERVATION, TELFORD, UK



Vor mehr als 100 Jahren schuf der Dresdner Künstler Karl Schulz seinen »Einzug in Jerusalem«. Seitdem legte sich ein Schmutzschleier über das Wandgemälde, dem mit herkömmlichen Reinigungsmethoden nicht beizukommen war. Laserstrahlen verhalfen den Restauratoren schließlich zum Durchbruch.

FRAUNHOFER IWS / UDO KLOTZBACH

Sauber durch Licht

Mit Laserlicht haben Experten ein empfindliches Gemälde wieder zum Strahlen gebracht: Damit entfernten sie die Schmutzschichten – ohne die Farben zu schädigen.

Das Wandbild »Einzug in Jerusalem« in der Kirche St. Martin im sächsischen Meerane war stets das Aschenputtel. Die Kirche, ein ursprünglich romanischer Bau, wurde über die Jahrhunderte mehrfach umgebaut und verändert. Das Wandgemälde stammt von der Hand des Jugendstilkünstlers Karl Schulz (1874–1954), der 1906 den Innenraum neu gestaltete. Im Lauf der Zeit hatte ein unansehnlicher Schmutzfilm die Oberfläche überzogen. Nun nahmen sich Restauratoren und das Landesamt für Denkmalpflege Sachsen seiner an. Nachdem Versuche, das Bild mechanisch zu reinigen, gescheitert waren, fragten sie bei Experten vom Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden an. Mit einer möglichst schonenden Methode sollte die

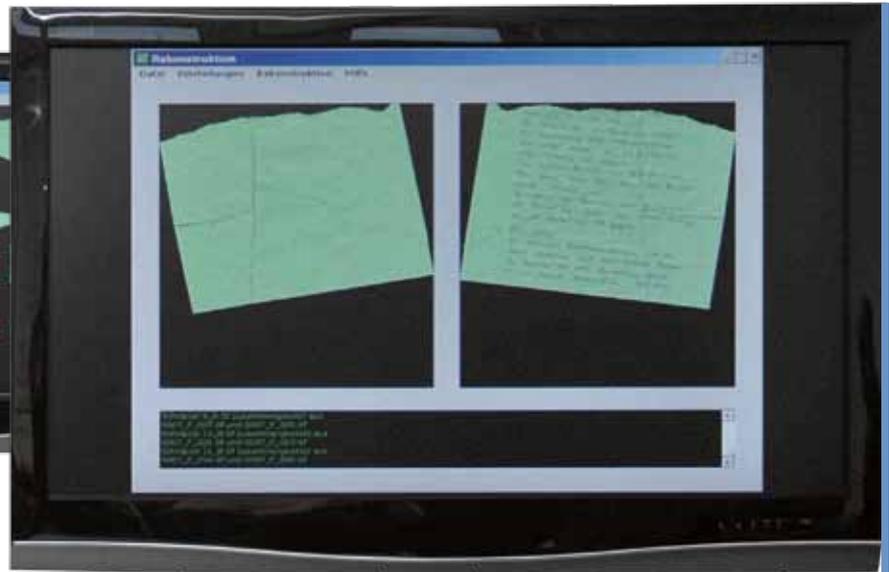
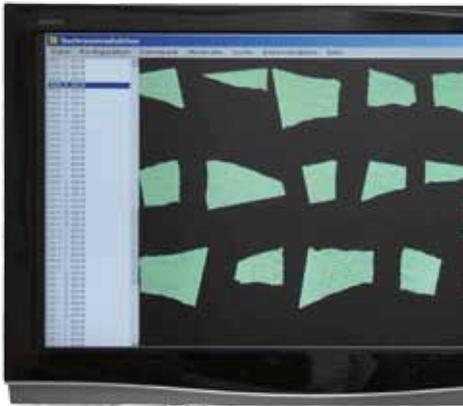
Wandmalerei gesäubert und anschließend konserviert werden. Hierfür wählten die Forscher das Verfahren der Laserreinigung und wendeten es erstmals bei einem Wandbild an, das stellenweise bereits konservatorisch gefestigt und mit einer Schutzschicht überzogen war.

Der Laser ist ein vielseitiges Werkzeug, das seit den 1990er Jahren auch Kunst- und Kulturgut restaurieren hilft. Mit ihm lassen sich filigrane Ersatzstücke ausschneiden, um Intarsien zu reparieren, oder abgebrochene Verzierungen wieder anschweißen. Vor allem als Reinigungsgerät für unterschiedlichste Materialien findet er Verwendung. Besonders geeignet ist die Methode für Stein und Holz, aber auch für Metalle wie Eisen, Bronze oder Gold. Den Fraunhofer-Forschern ist es sogar

gelingen, beim Säubern von verschiedenen Bronzebüsten die natürliche Grünpatina zu erhalten – ein sonst zumeist aussichtsloses Unterfangen. Ein Beispiel für den Werkstoff Stein ist das Dresdner Schlosskapellenportal, das sich mittels Laserstrahlen von verschmutzten Ölfarbanstrichen befreien ließ.

Sehr kurze Laserpulse mit hoher Energie können extrem dünne Schichten von wenigen Mikrometern abtragen. Damit das Material unter dem Schmutzbelag unversehrt bleibt, müssen die Pulse unterschiedliche optische Eigenschaften besitzen: Die unerwünschte Deckschicht absorbiert deutlich mehr Licht als der zu schützende Grund. So wird die Laserstrahlung vom Belag absorbiert und ihre Energie schlagartig in Wärme umgewandelt. Wenn dabei die Intensität des Laserpulses eine vom Material abhängige Schwelle überschreitet, wird die Schicht abgetragen. Dies geschieht meistens mit einem leichten Knallen, oft auch mit einem Leuchten der dabei entstehenden kleinen Plasmafackel. Ist der Untergrund transparent oder reflektiert er die Laserstrahlung nahezu vollständig, stoppt der Abtragprozess von selbst.

Eine entscheidende Rolle spielen die unterschiedlichen optischen und thermischen Eigenschaften der Pigmente in den polychromen Malschichten. Den Laser auf die vielen Farbvarianten des Wandbilds »Einzug in Jerusalem« in St. Martin abzustimmen, verlangte von den Forschern besonderes Geschick und große Sorgfalt. Indem sie die Intensität und die Laserimpulszahl pro Fläche variierten, konnten sie den Reinigungsprozess individuell für jede Farbe des Bilds anpassen. Die hellen, stärker reflektierenden Farbtöne des Himmels erlaubten beispielsweise höhere Laserleistungen als das Rot der Mauern oder die erhöht absorbierende braune Farbe von Haaren und Gewändern. Durch die gleichmäßige Entfernung der Schmutzschicht bekam das Bild seine ursprüngliche Leuchtkraft zurück.



Das Puzzle aus Stasi-schnipseln

Zerrissene oder beschädigte Dokumente wieder zusammensetzen, ist wahre Sisyphusarbeit. Mit einem System zur automatisierten virtuellen Rekonstruktion ist sie aber zu schaffen!

Mehrere Millionen Papierschnipsel in 16 000 Säcken wurden sichergestellt, nachdem im Dezember 1989 aufgebrachte DDR-Bürger, alarmiert durch Gerüchte, die Dienststellen des Ministeriums für Staatssicherheit gestürmt hatten. Ein Großteil der Beweise über Bespitzelungen war hektisch von Hand zerrissen worden, weil der Akten-schredder heiß gelaufen war.

Um das Unrecht an Regimekritikern in der DDR aufzuarbeiten, hat der Bundesbeauftragte für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes (BStU) der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik den Auftrag erteilt, die Dokumente manuell wiederherstellen zu lassen – ein schier unmögliches Unterfangen. So erhielt 2007 das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK in Berlin vom

Bundesinnenministerium den Auftrag, für zunächst 400 Säcke ein Pilotprojekt zur automatisierten, virtuellen Rekonstruktion zu entwickeln.

Inzwischen haben die IPK-Forscher eine weltweit anerkannte Technologie erarbeitet, die auf drei Prozessschritten basiert. Zuerst müssen die Fragmente detailgenau mit einem Hochleistungsscanner digitalisiert werden, der 1000 Schnipsel pro Stunde schafft. Dabei gilt es, die Teile beidseitig, ohne Reflexionen oder Schatten sowie farbecht und geometriegetreu zu erfassen. Danach kommt das Herzstück des Verfahrens an die Reihe: Der »ePuzzler« ist eine spezielle Software, die mit Hilfe komplexer Algorithmen der Bildverarbeitung und Mustererkennung die gescannten Papierschnipsel automatisch zu kompletten Seiten zusammenfügen kann.

Zunächst berechnet der »ePuzzler« verschiedene Merkmale wie Kontur, Papierfarbe, Schriftart oder Linierung. Ähnlichkeiten ermöglichen es, das Material in Untergruppen zu sortieren. Darauf folgt das »Matchen«: Die digitalisierten Schnipsel werden entlang ihrer Konturen verglichen, um zu sehen, ob Eigenschaften übereinstimmen. Passende und zusammengefügte Fragmente ergeben dann ein größeres Stück, und derselbe Prozess geht in die nächste Runde – so lange, bis eine vollständig zusammengesetzte Seite vorliegt.

Im letzten Schritt geht es darum, einzelne Seiten zu Dokumenten und schließlich mehrere Dokumente zu Akten zusammenzufügen, um sie inhaltlich auswerten zu können.

Erst werden die zerrissenen Dokumente Stück für Stück gescannt. Dann vergleicht eine spezielle Software die Schnipsel so lange miteinander, bis alle Teile virtuell zusammengesetzt sind.

Mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung soll dieser Vorgang, die so genannte Formierung, ebenfalls so weit wie möglich automatisiert werden. Damit die wiederhergestellten Stasiunterlagen auch vor Gericht Bestand haben, muss zudem der gesamte Rekonstruktionsprozess transparent und das Datenmaterial vor Manipulationen geschützt werden.

Für Archäologen und Kunsthistoriker wird es spannend, wenn virtuelle Rekonstruktionssysteme nicht nur verloren geglaubte Informationen wiederbeschaffen wie bei den Stasiunterlagen, sondern beschädigte Schätze der Kulturgeschichte auch physisch wiederherstellen helfen. So plant das IPK, die Experten der Ägyptischen Sammlung der Stiftung Preussischer Kulturbesitz bei der Restaurierung fragmentierter, historisch einmaliger Papyri zu unterstützen. Auch für die schwer beschädigten Dokumente des eingestürzten Kölner Stadtarchivs kann ein virtuelles Rekonstruktionssystem von Nutzen sein. Und selbst in die dritte Dimension dringen die Forscher bereits vor, etwa um Fresken, die in unzählige Stückchen zerbrochen sind, mit Hilfe virtueller 3-D-Rekonstruktion wieder zusammenzufügen.

Ein Speicher für Jahrhunderte

Eine Kombination aus digitaler Speicherung und analoger Mikrofilmbelichtung rettet kostbare Dokumente in Archiven, Bibliotheken und Museen bis in ferne Zukunft – und zwar in Form von Kopien.

Der Brand der Herzogin Anna Amalia Bibliothek in Weimar und der Einsturz des Kölner Stadtarchivs haben einmal mehr verdeutlicht, wie wichtig es ist, verzierte Handschriften, reich illustrierte Bücher oder Gemälde in Form von Kopien zu erhalten – damit wenigstens der Inhalt der Originale im Fall einer Katastrophe nicht unwiederbringlich verloren geht. Die heutige digitale Speicherung ist zwar mit wenig Aufwand verbunden und lässt sich flexibel nutzen, hat aber gravierende Nachteile: Niemand kann eine langfristige Haltbarkeit der Datenträger garantieren. Außerdem – es sei nur an die

Floppy Disks erinnert – ändern sich laufend deren Formate, so dass die Daten immer wieder Zeit raubend und kostspielig konvertiert werden müssen.

Die bewährten, überaus stabilen Schwarz-Weiß-Mikrofilme kommen für farbige Objekte leider nicht in Frage. Hochauflösende Farbmikrofilme haben zwar nachweislich eine Lebensdauer von mindestens 500 Jahren, allerdings sind sie derart lichtunempfindlich, dass sie für die Speicherung mit Hilfe der analogen Fotografie nur eingeschränkt verwendet werden können. Der Grund: Für die Belichtung müsste das Archivgut sehr hell ausgeleuchtet werden und könnte Schaden nehmen.

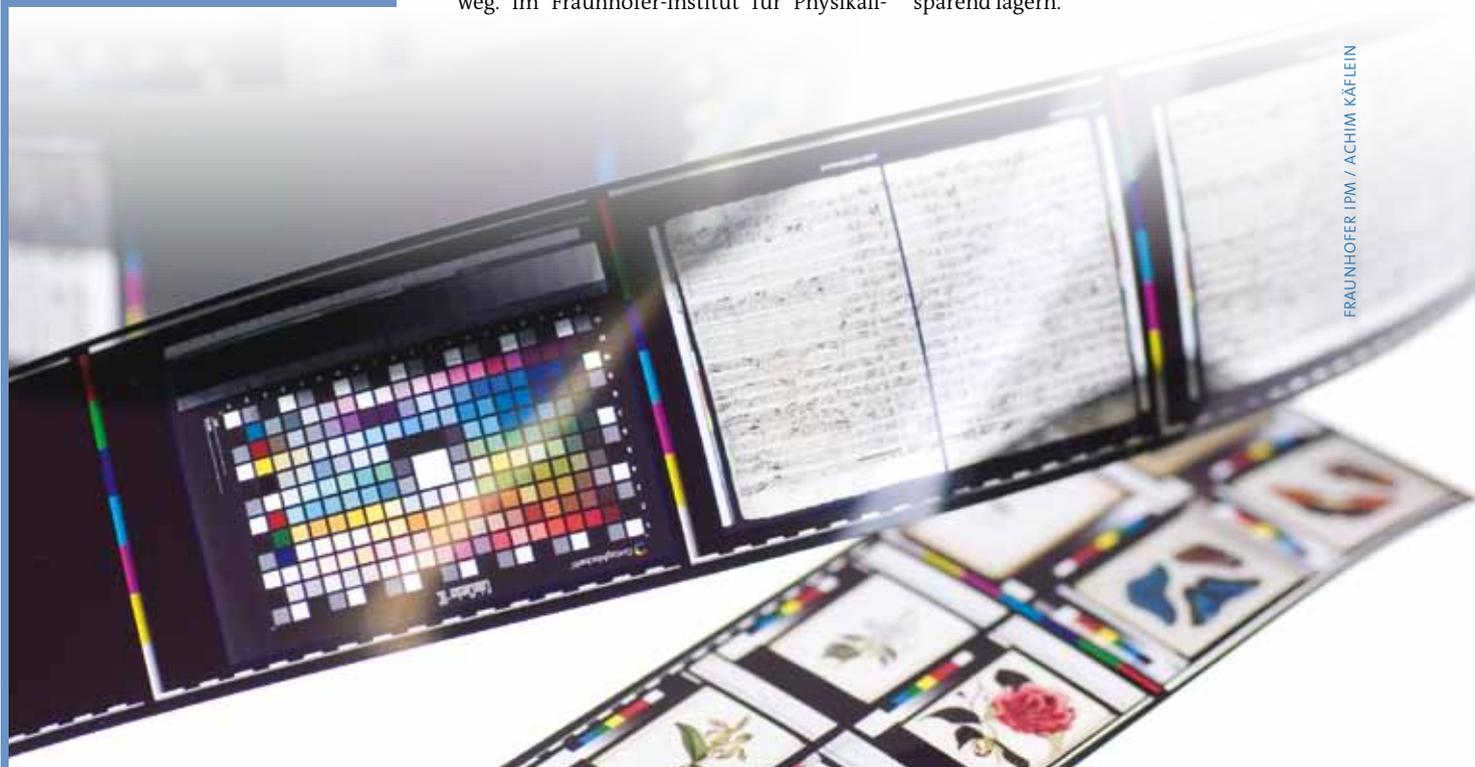
So suchte das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), zuständig für die Sicherungsverfilmung von Archivgut, gemeinsam mit der Herzogin Anna Amalia Bibliothek und dem Landesarchiv Baden-Württemberg nach einem Ausweg. Im Fraunhofer-Institut für Physikali-

sche Messtechnik IPM in Freiburg fanden sie die Partner für das technische Knowhow. Und tatsächlich gelang es den Forschern dort, das optimale Speicherverfahren auszutüfteln. Auf der Grundlage des berühmten und oscarprämiierten Arri-Lasers für Kinofilme, ebenfalls aus der IPM-Denkfabrik, entwickelten sie einen neuen Mikrofilm-Laserbelichter, genannt Arche.

Statt der Originale selbst belichtet der Arche-Laser deren digitalisierte Daten auf dem analogen Mikrofilm, ergänzt durch hilfreiche Zusatzinformationen wie Schlagwörter oder Quellenangaben – und zwar automatisch und schnell. Eine zusätzliche Kalibrierung sorgt für hohe Bildqualität und Farbtreue. Die Langzeitarchivierung ist bedienungsfreundlich, kostengünstig und schont die Originale. Mit einem Scanner lassen sich die Bilder außerdem leicht wieder digitalisieren, so dass bei Bedarf das Studieren einer Handschrift oder eines Bilds am eigenen Computer möglich ist.

Ein Prototyp des Arche-Mikrofilm-Laserbelichters steht im Ludwigsburger Institut für Erhaltung von Archiv- und Bibliotheksgut des Landesarchivs Baden-Württemberg. Es beherbergt eine der größten Werkstätten, die für das BBK Mikrofilme herstellen. Doch auch über historische Bestände hinaus kann das Archivierungsverfahren von Nutzen sein. Immer mehr Daten müssen, etwa wegen gesetzlicher Vorschriften, über lange Zeiträume aufbewahrt werden. Auf laserbelichtetem Mikrofilm lassen sich wichtige Dokumente sicher, authentisch und platzsparend lagern.

Mit einem Laserbelichter können digitalisierte Originaldokumente auf Farbmikrofilm übertragen und so für lange Zeit gesichert werden. Solche Filme haben eine Haltbarkeit von mindestens 500 Jahren!



Energie sparen im Museum

Museen haben einen enorm hohen Energieverbrauch, müssen sie doch ihre Schätze gut klimatisiert behüten. Ein Forscherverbund erarbeitet nun Konzepte, um die Gebäude nachhaltig zu sanieren.

DEUTSCHES SCHIFFAHRTSMUSEUM / EGBERT LASKA



Das Deutsche Schiffahrtsmuseum in Bremerhaven – hinten links befindet sich der sanierungsbedürftige Scharoun-Bau von 1975 (1), davor der 25 Jahre jüngere Bau von Bangert (2).

Ob Bilder, Skulpturen, Kleinkunst, historische technische Instrumente oder Dinosaurierskelette – die Exponate in den Museen sind empfindlich und erfordern ein genau abgestimmtes Raumklima. Die Ausstellungsräume müssen daher je nach Jahreszeit geheizt oder gekühlt werden, gut belüftet sein und die richtige Luftfeuchtigkeit haben. All dies verbraucht enorm viel Energie. Zudem wurden die meisten Museen in Zeiten errichtet, als niemand an die Energiekosten dachte, als es weder eine Energieeinsparverordnung noch die Technologien für energieeffizientes Bauen gab.

Für die Erprobung moderner Bautechniken an betagteren Gebäuden bieten sich jedoch die vielen Museen an, die ohnehin renovierungsbedürftig sind. Wie sich innovative Sanierungskonzepte und der Einsatz neuer Baustoffe mit den besonderen konservatorischen Ansprüchen des Museumsbetriebs und in vielen Fällen auch mit dem Denkmalschutz vereinbaren lassen, erkunden Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP, der Universität Stuttgart, der Technischen Universitäten München und Dresden, der Bauhaus-Universität

Weimar sowie des ITG Instituts für Technische Gebäudeausrüstung Dresden. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Federführend ist das Institut für Gebäude- und Solartechnik IGS der Technischen Universität Braunschweig. Am Ende werden nicht nur Klima und Umwelt, sondern auch die klammen Kassen der Museen profitieren.

Eines der Demonstrationsobjekte ist das Deutsche Schiffahrtsmuseum in Bremerhaven. Mit fast 150 000 Besuchern im Jahr zählt es nicht nur zu den bedeutendsten deutschen Museen, sondern steht als Forschungsmuseum der Leibniz-Gemeinschaft auch im Dienst der Wissenschaft. Der berühmte Architekt Hans Scharoun entwarf 1975 den ersten Bau, dessen Gestalt an ein Schiff erinnert. Heute steht das Gebäude unter Denkmalschutz. Dietrich Bangert schuf 2000 einen weiteren Museumsbau. In den kommenden Jahren sollen weitere Neubauten folgen und der Bestand energieeffizient saniert werden. Ziel ist es, ein kluges Versorgungskonzept für das Gesamtensemble zu finden, das auch eine hohe Ausfallsicherheit gewährleistet.

Im Mittelpunkt steht der Scharoun-Bau. Sein desolater Zustand ist augenfällig: So ist inzwischen eine gravierende Durchfeuchtung zu beklagen, durch das Dach tropft Wasser, und die Kosten für die Raumklimaregelung sind in enorme Höhen geklettert. Das Kerninstrument einer jeden Altbausanierung ist die Dämmung der Hülle, denn eine schlecht isolierte Fassade gibt unnötig viel Wärme nach außen ab. Zugleich aber ist es für ein Gebäude unter Denkmalschutz wichtig, seine Kubatur nicht zu verändern und die Proportionen an den Anschlusspunkten zu berücksichtigen.

Geplant ist, die Klinkerfassade des Scharoun-Baus mit Vakuumisolierpaneelen zu dämmen. Dabei sollen auch die maroden Dehnfugen, welche die Bauwerke in bewegliche Abschnitte teilen und so Spannungsrisse vorbeugen, ausgebessert werden. Damit ist gewährleistet, dass die Außenwände wasserdicht sind. Ebenso werden die Dachflächen gedämmt und die Fenster erneuert. Am Schluss wird sich die gesamte Gebäudehülle am Standard von Neubauten messen können, ohne ihr denkmalgeschütztes Gesicht zu verlieren.

Mit Plasmen und Elektronen gegen den Verfall

In industriellen Verfahren ist die Plasmatechnologie schon lange fest etabliert. Inzwischen hilft sie auch, unser Kulturerbe zu bewahren.

Kein anderes historisches Zeugnis speichert das Wissen und die Kultur der Menschheit umfangreicher als Papier. Doch gibt es Grund zur Sorge: Riesige Mengen an wertvollen Dokumenten sind vom Verfall bedroht. Das Bundesarchiv sieht sogar fast seine gesamten Bestände gefährdet. Die Zerstörung durch Säurefraß, Oxidation sowie hungrige Bakterien und Pilze ist kaum

aufzuhalten. Hoffnung auf Rettung für das Papier, aber auch für andere Kunst- und Kulturgüter versprechen jedoch die Plasmatechnologie und der Einsatz beschleunigter Elektronen.

Plasmen sind ionisierte, also angeregte Gase. Zu den thermischen Plasmen zählen die Sonne, eine Flamme oder ein Blitz. Die Ionisation entsteht hier durch hohe Temperaturen. Regen elektrische Wechselfelder ein Gas an, so sind die Plasmen kalt. Solche Niedertemperaturplasmen können reinigen, entkeimen, abtragen oder Oberflächen schützend beschichten. In dem ersten großen gemeinsamen Projekt der Forschungsallianz Kulturerbe, das sechs Fraunhofer-Institute, dazu Einrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft und der Stiftung Preußischer Kulturbesitz sowie weitere Institutionen vereint, werden die Möglichkeiten dieser Technologien ausgelotet.

Niederdruckplasmen, die in Unterdruckkammern gezündet werden, sind besonders geeignet für die flächige Behandlung von Objekten. So lassen sich etwa Oberflächen archäologischer Funde, die diesem Verfahren unterzogen wurden, leichter säubern. Auch können wertvolle Kunstobjekte aus Silber, die sich an der Luft schwärzlich braun verfärbt haben, gut mit reduzierenden Plasmen gereinigt werden – ohne Materialabtrag. Weil ionisierte Teilchen zudem sterilisierend wirken, kamen Fraunhofer-Forscher

auf die Idee, mit Niederdruckplasmen geschädigtes Papier zu entkeimen. In Versuchen wiesen sie nach, dass sich die Anzahl an Mikroben wesentlich reduzierte. Behandelt man das Papier mit Wasserstoffplasma, kann es sich sogar verfestigen. Auch lassen sich Schutzschichten aufbringen, die zum Beispiel frisch gereinigtes Silber vor dem erneuten Anlaufen bewahren. Derzeit wird überdies untersucht, wie andere Objekte vor Umwelteinflüssen geschützt werden können.

Atmosphärendruckplasmen werden bei Raumbedingungen gezündet. Mit ihnen versuchen die Wissenschaftler gezielt, angelauene »Flecken« auf Silberobjekten zu reduzieren. Von Vorteil ist hier, dass nicht das ganze Objekt behandelt werden muss, sondern ein Plasmastift eine lokale Reinigung ermöglicht. Bei dieser schonenden Vorgehensweise sieht der Restaurator direkt, was passiert, und kann die reduktive Behandlung objektspezifisch durchführen. Nun sollen diese Plasmen noch an anderen Metallen und Legierungen getestet werden. Des Weiteren lassen sich mit einem miniaturisierten Plasmastift an modernen Gemälden abplatzende Farbschichten auf Kunststoffen wieder verkleben.

Noch mehr Grund zur Zuversicht liefert den Archivaren der Einsatz von beschleunigten Elektronen. Diese können Zellulosefasern chemisch miteinander oder mit eingebrachten Polymeren vernetzen und so das Papier stabilisieren. Ein positiver Nebeneffekt ist zudem ihre keimtötende Wirkung. Da die Behandlung mit niederenergetischen Elektronen kostengünstig und schnell ist sowie flexibel dem Einsatzort angepasst werden kann, steigt die Chance, selbst riesige Massen an bedrohtem Papier zu bewältigen. Ein gigantischer Fundus unserer Geistesgeschichte ließe sich so retten.



FRAUNHOFER IST

Silber läuft rasch an – und lässt sich leicht mit Politur reinigen. Weil dabei auch Originalsubstanz abgetragen wird, sollten historische Stücke so nicht behandelt werden. Schonender ist hingegen die Säuberung mit einem Niedertemperaturplasma.

Von der Theorie in die Praxis

Um erfolgreich unser Kulturerbe zu erhalten, zu pflegen und zu restaurieren, müssen sich die Verantwortlichen untereinander und mit Experten anderer Fachrichtungen austauschen.

Kaum ein Ort scheint geeigneter zu sein, um Restauratoren, Architekten, Techniker, Stuckateure, Kuratoren und andere Fachleute über neue Erkenntnisse und geeignete Maßnahmen zum Schutz von Kulturgütern zu informieren: Die Klosteranlage Bronnbach bei Wertheim aus dem 12. Jahrhundert ist selbst ein Denkmal und hat zugleich moderne Tagungsräume und Labore für praktische Übungen zu bieten. Sie beherbergt das Internationale Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK, das auf Initiative des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung ISC sowie des Landkreises Main-Tauber 2008 gegründet wurde und sich als Bildungseinrichtung versteht. Als besonders günstig erweist es sich, dass dort auch der ISC-Fachbereich Kulturgüterschutz angesiedelt ist, der eine materialwissenschaftliche und chemische Expertise zu Korrosionsprozessen besitzt. Die Forscher prüfen zudem historische Objekte aus Metall, Email, Glasuren oder Mosaiken auf Schäden durch Umweltbelastungen, entwickeln Schutzmaßnahmen und führen Klimamessungen in Museen oder Vitrinen durch.

Ein ebenso passendes und attraktives Ambiente fand das Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege in der Alten Schäferei des Klosters Benediktbeuern, das vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP geführt wird. Zu den Aufgaben zählen neben der Erforschung, der Sammlung und der Vermittlung neuer Er-

kenntnisse auch die didaktische Demonstration von Sanierungstechniken. Das Fraunhofer-Zentrum ist eine fachkompetente Anlaufstelle insbesondere für die Frage, wie energetisch sinnvoll saniert werden kann – ohne den Denkmalschutz und die konservatorischen Aufgaben zu verletzen und ohne Bauschäden zu verursachen. Für ebene Bereiche untersuchen die Forscher traditionelle Lösungen, entwickeln sie weiter und suchen zugleich nach innovativen Wegen zur energetisch effizienten Sanierung von Altbauten und Baudenkmalern. Ausstellungen und Lehrprogramme dienen der Weiterbildung von Architekten, Ingenieuren, Flachplannern, Handwerkern, Bauherren, Kommunen und interessierten Laien. Zudem soll der Öffentlichkeit mit der Alten Schäferei als »gläserner Baustelle« beispielhaft eine denkmalgerechte Instandsetzung gezeigt werden.

Eine Veranstaltungsreihe zu nachhaltiger Energieeffizienz in Museen begeisterte 2010 und 2011 ein großes Fachpublikum in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Konzipiert von der Forschungsallianz Kulturerbe und der Deutschen Kongress GmbH, bot »Das grüne Museum« den Teilnehmern mit Vorträgen, Ausstellungen und Diskussionsrunden Gelegenheit, sich über Themen

wie Energie sparende Klimatisierung, Konservierungs-, Restaurierungs- und Lagerungskonzepte oder Schadstoffreduktion zu informieren. Eine wichtige Komponente in Museen ist zum Beispiel die Beleuchtung, denn sie rückt ein Exponat für den Betrachter erst ins rechte Licht. Doch geben viele Lichtquellen nicht nur unnötig Wärme ab, sondern können Materialien auch schädigen. Vor UV-Strahlung schützen Verschattungen oder Filter. Aber auch der sichtbare Bereich des Spektrums kann gefährlich sein. Aus diesem Grund stieß die Präsentation einer Datenbank, die innerhalb des Projekts »Auswahl geeigneter Leuchtmittel zum Einsatz in Museen« vom Rathgen-Forschungslabor in Berlin, dem Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg und der TU Berlin erstellt wurde, auf besonderes Interesse. Sie listet das Schädigungspotenzial und den Farbeindruck von Lichtquellen wie den immer häufiger genutzten LED-Leuchtsystemen auf.

Für die Erhaltung von Kulturgütern werden neueste Technologien entwickelt, doch ebenso wichtig sind die Aus- und Weiterbildung sowie die Anwendung in der Praxis.



IZKK / FRAUNHOFER ISC

Wussten Sie, ...



FRAUNHOFER IAP

... dass Millionen von Zeitungen in den Archiven so stark geschädigt sind, dass sie nicht einmal mehr digital erfasst werden können?

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP hat zusammen mit der Staatsbibliothek zu Berlin ein kostengünstiges Verfahren entwickelt, um das Papier solcher Zeitungen zu stabilisieren:

Mit einer Klebefolie wird zunächst jedes Blatt einzeln vom Stapel gehoben. Dann wird auf die andere Seite eine klebstofffreie Siegelfolie aufgelegt und das Blatt abschließend laminiert. Derart gefestigt, kann der Zeitungsbogen problemlos digitalisiert werden.

... dass ursprünglich zum Schutz gedachte Substanzen unser Kulturgut und die Umwelt schädigen können?

Ausgasende Inhaltsstoffe zum Beispiel aus Holz- und Brandschutzmitteln können die Raumluft belasten, und auskristallisierende Substanzen greifen womöglich das Gefüge der Materialien an. Um dem entgegenzutreten, hat das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT verschiedene Reinigungsverfahren entwickelt, die teils schon in der Erprobungsphase sind. Das Institut berät und führt notwendige Analysen und Messungen durch.

... dass die Zukunft des klimagerechten Bauens in der Vergangenheit liegt?

Seit Zehntausenden von Jahren verstehen es die Menschen, in den unterschiedlichen Regionen der Erde mit den ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln klimagerecht zu bauen. Sie entwickelten einen Baustil, der den Wetterbedingungen vor Ort und den dortigen Lebensbedürfnissen angepasst war. Deshalb muss die traditionelle Architektur vergangener Epochen studiert werden, um daraus für moderne Baukonzepte zu lernen. Dem nachhaltigen, klimagerechten Bauen werden sich das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und der Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart in den kommenden Jahren intensiv widmen. Den Kern dieses Forschungsvorhabens bildet das internationale Promotionskolleg »Climate-Culture-Building CCB«.

... dass Staub und andere Substanzen in der Raumluft sowohl Exponate in Museen als auch die Gesundheit von Mitarbeitern gefährden können?

Aus einem Projekt des Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Instituts ist der Leitfaden »Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven« hervorgegangen, der über Innenraumhygiene und Luftschadstoffe informiert, Messverfahren vorstellt und Hilfestellung für die Prävention und Sanierung bietet. Ebenso gibt die Broschüre Auskunft über Schäden an musealem Sammlungsgut, die durch Gase verursacht werden. Der Leitfaden kann ab Ende 2012 in der 2. Auflage beim Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB Stuttgart bezogen werden.

... dass Dosimeter auch Licht überwachen können?

Sowohl natürliches als auch künstliches Licht kann empfindliches Archivgut, das zum Beispiel in einer Vitrine ausgestellt ist, schädigen. Mit einem Lichtdosimeter hat das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC ein Frühwarnsystem entwickelt: Eine blaue Schicht auf einem Glaträger verändert unter Lichteinfall kontinuierlich ihren Farbton und zeigt damit die Belastung an. Der sehr einfach und präzise arbeitende Lichtdosimeter wurde 2003 mit dem Europäischen Innovationspreis ausgezeichnet.



FRAUNHOFER ISC

Forschungsallianz Kulturerbe

SPRECHER DER FORSCHUNGSALLIANZ KULTURERBE

Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer,
E-Mail: klaus.sedlbauer@ibp.fraunhofer.de
Dr. Johanna Leissner (Stellvertreterin),
E-Mail: johanna.leissner@zv.fraunhofer.de

Leibniz-Gemeinschaft

Dr. Stefan Brüggerhoff,
E-Mail: stefan.brueggerhoff@bergbaumuseum.de
Dr. Ursula Warnke (Stellvertreterin),
E-Mail: warnke@dsm.museum

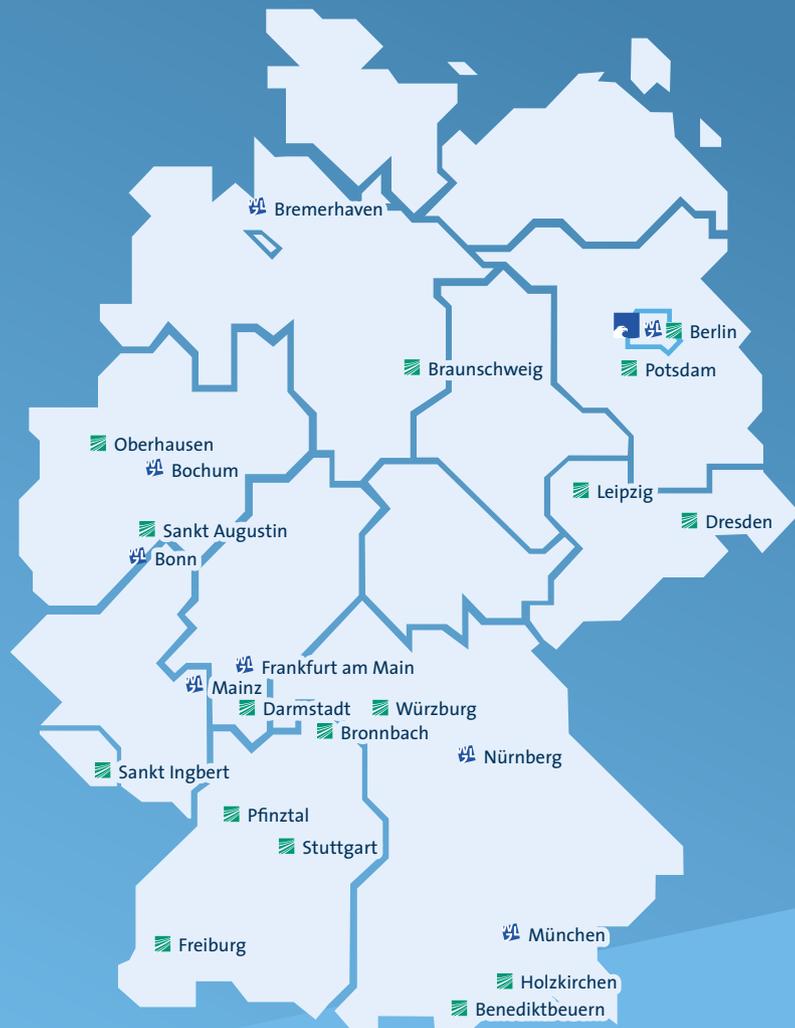
Stiftung Preußischer Kulturbesitz

Prof. Dr. Stefan Simon,
E-Mail: s.simon@smb.spk-berlin.de
Dr. Barbara Göbel (Stellvertreterin),
E-Mail: goebel@iai.spk-berlin.de

DIE MITGLIEDSEINRICHTUNGEN

Fraunhofer

- Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Potsdam – Prof. Dr. André Laschewsky (andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de)
- Institut für Bauphysik IBP, Holzkirchen – Dipl.-Restaurator Univ. Ralf Kilian (ralf.kilian@ibp.fraunhofer.de)
- Institut für Biomedizinische Technik IBMT, Sankt Ingbert – Dr. Frank Tiefensee (frank.tiefensee@ibmt.fraunhofer.de)
- Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal – Dr. Thomas Reichert (thomas.reichert@ict.fraunhofer.de)
- Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden – Dipl.-Phys. Wolfgang Nedon (wolfgang.nedon@fep.fraunhofer.de)
- Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Darmstadt – Prof. Dr. André Stork (andre.stork@igd.fraunhofer.de)
- Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart – Dr. Uwe Vohrer (uwe.vohrer@igb.fraunhofer.de)
- Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, Braunschweig – Dr. Alexandra Schieweck (alexandra.schieweck@wki.fraunhofer.de)
- Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin – Dr. Manfred Bogen (manfred.bogen@iais.fraunhofer.de)
- Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg – Dr. Dominik Giel (dominik.giel@ipm.fraunhofer.de)
- Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin – Dr. Bertram Nickolay (bertram.nickolay@ipk.fraunhofer.de)
- Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig – Dr. Michael Thomas (michael.thomas@ist.fraunhofer.de)
- Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg – Dr. Paul Bellendorf (paul.bellendorf@isc.fraunhofer.de)
- Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen – Dipl.-Ing. Erich Jelen (erich.jelen@umsicht.fraunhofer.de)
- Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden – Dr. Udo Klotzbach (udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de)
- Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart – Dipl.-Ing., Dipl.-Wipäd. Volker Schweizer (volker.schweizer@irb.fraunhofer.de)
- Fraunhofer-Zentrum Mittel- und Osteuropa MOEZ, Leipzig – Urban Kaiser M. A. (urban.kaiser@moez.fraunhofer.de)
- Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege, Kloster Benediktbeuern – Dr. Britta von Rettberg (britta.von.rettberg@ibp.fraunhofer.de)
- Internationales Zentrum für Kulturgüterschutz und Konservierungsforschung IZKK, Kloster Bronnbach – Dipl.-Betr. Sabrina Rota (sabrina.rota@izkk.de)
- Fraunhofer-Büro Brüssel – Dr. Johanna Leissner (johanna.leissner@zv.fraunhofer.de)



Leibniz Gemeinschaft

- Deutsches Bergbau-Museum, Bochum – Dr. Stefan Brüggerhoff (stefan.brueggerhoff@bergbaumuseum.de)
- Deutsches Museum, München – Prof. Dr. Helmuth Trischler (h.trischler@deutsches-museum.de)
- Deutsches Schiffahrtsmuseum, Bremerhaven – Dr. Ursula Warnke (warnke@dsm.museum)
- Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt am Main – Dr. Stephan Schaal (stephan.schaal@senckenberg.de)
- Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg – Oliver Mack M. A. (o.mack@gnm.de)
- Museum für Naturkunde, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, Berlin – Dr. Peter Bartsch (peter.bartsch@mfn-berlin.de)
- Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz – Dr. Susanne Greiff (greiff@rgzm.de)
- Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig, Bonn – Prof. Dr. J. Wolfgang Wägele (w.waegle.zfmk@uni-bonn.de)



Stiftung Preußischer Kulturbesitz

- Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz, Berlin – Direktion (gsta.pk@gsta.spk-berlin.de)
- Ibero-Amerikanisches Institut, Berlin – Direktion (iai@iai.spk-berlin.de)
- Staatsbibliothek zu Berlin, Berlin – Generaldirektion (barbara.schneider-kempff@sbb.spk-berlin.de)
- Staatliche Museen zu Berlin, Berlin – Generaldirektion (generaldirektion@smb.spk-berlin.de)
- Staatliches Institut für Musikforschung, Berlin – Direktion (sim@sim.spk-berlin.de)

Herausgeber:

Forschungsallianz Kulturerbe
www.forschungsallianz-kulturerbe.de
info@forschungsallianz-kulturerbe.de

Verantwortlich:

Dr. Johanna Leissner, stellvertretende Sprecherin der Forschungsallianz Kulturerbe, Fraunhofer-Büro Brüssel, Rue du Commerce 31, B-1000 Brüssel, Tel. +32 2 50642-43, johanna.leissner@zv.fraunhofer.de

Viktoria Piehl M. A., Betriebswirtin (WFA), M. A., wissenschaftliche Mitarbeiterin der Forschungsallianz Kulturerbe

Eine Publikation von:

Spektrum
DER WISSENSCHAFT
CUSTOM
PUBLISHING

www.spektrum.de/cp
Slevogtstraße 3–5, D-69126 Heidelberg

Leitung: Dr. Joachim Schüring

Redaktion: Dieter Beste, Marion Kälke, Karin Schlott

Schlussredaktion: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle

Gestaltung: Claus Schäfer

TITELBILDER:
IZKK / FRAUNHOFER ISC; WOLFGANG
CONRAD, LUTHERSTADT EISLEBEN;
FRAUNHOFER IST; IZKK / FRAUNHOFER ISC
(VON LINKS NACH RECHTS)