

CLAUDIA WIELAND

Vorbereitung auf den Ernstfall

Die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie 2007/60/EG in Archiven und Kultureinrichtungen

Wer aufmerksam die Nachrichten verfolgt, kann im Bezug auf Hochwasser und die damit verbundenen Schadensereignisse eine eindeutige Tendenz feststellen: Überflutungen werden häufiger, die dadurch verursachten Schäden größer. Das stellt der Fernsehzuschauer fest, das bemerken die mit der Schadensregulierung befassten Versicherungsunternehmen, und das hat nicht zuletzt die mit der Krisenbewältigung beschäftigte Politik zur Kenntnis genommen.

Gründe für ein verstärktes Auftreten von Hochwasser und Überschwemmungen gibt es viele. Seit dem 19. Jahrhundert wurden Flusssysteme vermehrt ausgebaut, Flussläufe begradigt. Den Ökonomen jener Zeit erschien dies absolut sinnvoll. Die Schifffahrt verbesserte sich, ausgebagerte Fahrrinnen ermöglichten mehr Tiefgang und damit mehr Frachtleistung, geradere Schifffahrtsstrecken konnten mit längeren Schiffen bzw. Schiffskonvois befahren werden, die Fahrtzeiten verkürzten sich analog zur Streckenverkürzung. Aus den aufgefüllten Fluss-Altarmen und ehemaligen Überschwemmungsgebieten gewann man neues Ackerland. Die Trockenlegung der Rheinauen erreichte zusätzlich ein gesundheitspolitisches Ziel – die dort vorkommende Malaria wurde wirksam eingedämmt.

Mit dem Stichwort *Versiegelung der Landschaft* ist eine weitere Ursache für Überschwemmungen, insbesondere bei Unwetterereignissen mit Starkregen, zu benennen. Der wachsende Flächenverbrauch für Wohn- und Industriebebauung, für Straßen, Parkflächen etc. reduziert den Anteil offener Flächen, in denen Regenwasser ungehindert versickern kann. Anstatt vom Erdreich gespeichert zu werden, werden die von den überbauten Flächen abgeführten Wassermassen über die Abwasserkanalsysteme sehr schnell Bächen und Flussläufen zugeführt und führen zu deren Überlastung.



1 | Blick in das Innere eines Wertheimer Privathauses während des Hochwassers 1995 (Höchststand 6,37 m) – das Schlauchboot stellt die Verbindung zur Außenwelt her.
Aufnahme: privat.



2 | Frei nach dem Motto „Erleben Sie Wertheim“ konnte man im Januar 2011 mit dem Fischernachen durch die Wertheimer Altstadtgassen fahren.
Aufnahme: privat.

Flussauen waren früher eher sumpfige, teils mit Büschen und Bäumen bestandene, unbewohnte Areale oder Wiesenflächen. Überschwemmungen richteten dort nur geringe Schäden an. Mittlerweile sind flussnahe Bereiche oft nicht mehr landwirtschaftlich genutzt, sondern bevorzugte, da ebene Industrieflächen. Auch die Wohnbebauung ist näher an die Flüsse gerückt, sei es, weil nur dort noch Potenzial zur Stadterweiterung zur Verfügung stand, sei es wegen der Wohnqualität. Es hat schließlich Charme, direkt an einem idyllischen Fleckchen Natur wie z.B. einem kleinen Bachlauf zu wohnen. Weil sich damit mehr und mehr materielle Werte im Hochwasserbereich finden, fallen die Hochwasserschäden unweigerlich immer höher aus. Wird ein Acker überschwemmt, ist der

Ernteertrag eines Jahres zerstört, steht dort ein Industriebetrieb, sind die Schäden – und sei es auch nur durch einen befristeten Produktionsausfall – bedeutend höher.

Schließlich sei ein letzter, nicht zu vernachlässigender Faktor aufgeführt – der Klimawandel. Nachdem zum dritten Mal innerhalb eines Jahrzehnts ein Aprilmonat gleich um mehrere Grade gegenüber dem langjährigen Mittel zu warm war, ist die Veränderung des Klimas offensichtlich. Ob vom Menschen verursacht oder natürlicher Schwankung unterliegend, spielt für unsere Themenstellung dabei keine Rolle. Im sich verändernden Klima fallen Niederschläge im Winter als Regen und nicht mehr als Schnee, steigt die Gewitterhäufigkeit im Sommer. Starkregen treten vermehrt auf und betreffen auch Gebiete, die bisher nicht als traditionelle Hochwasserzonen gegolten haben.

Nicht zuletzt die großen Hochwasser des 21. Jahrhunderts an Oder, Elbe und Donau haben die Europäische Union dazu bewegt, verschiedene staatenübergreifende Regelungen zu treffen, um Überflutungsgefahren künftig besser begegnen zu können.

Die im Folgenden im Blick auf den Kulturgutschutz näher beschriebene Regelung ist die Richtlinie 2007/60/EG über die *Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken*. Diese Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (kurz HWRM-RL) ist zum 26.11.2007 in Kraft getreten und setzt einen länderübergreifenden Rahmen, der von den Staaten der Europäischen Union durch eigene Rechtsvorschriften auszugestaltet ist. In der Bundesrepublik Deutschland erfolgte die Umsetzung in nationales Recht mit der Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG), das zum 01.03.2010 in Kraft trat. Abschnitt 6 dieses Gesetzes befasst sich mit dem Hochwasserschutz,

v.a. in den Paragraphen 73-75 und 79 wurden darin die Bestimmungen der HWRM-RL nahezu unverändert übernommen. Zeitgleich mit der Verabschiedung des WHG erfolgten notwendige Anpassungen in entsprechenden Landesgesetzen der Bundesrepublik.

Die HWRM-RL definiert zunächst einmal Hochwasser als *zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist* (Art. 2 HWRM-RL). Damit sind Überflutungen durch Flüsse, Gebirgsbäche, zeitweise trocken liegende Wasserströme wie sie im Mittelmeergebiet vorkommen sowie Meerwasserüberschwemmungen im Küstengebiet gemeint. Nicht im Blickfeld der HWRM-RL sind Gefährdungen z.B. durch den Anstieg des Grundwassers oder die Überlastung von Abwassersystemen.

Zweck der HWRM-RL ist es, einen Rahmen für die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken zu schaffen, um damit hochwasserbedingte nachteilige Folgen für verschiedene Lebensbereiche zu verringern (Art. 1 HWRM-RL). Die konkrete Ausgestaltung dieses Rahmens liegt, wie schon erwähnt, in der Verantwortung der jeweiligen Länder und muss auf deren individuelle Bedürfnisse eingehen. Alle aufgrund der Richtlinie zu ergreifenden Maßnahmen sind dabei nicht isoliert zu betrachten, sondern gemeinde-, kreis- und länderübergreifend zu koordinieren. Betrachtungsebene ist nicht der Verwaltungsbezirk, sondern das Einzelgewässer bzw. die Flussgebietseinheit. In Aussicht genommene Projekte sind also von der Quelle bis zur Mündung eines Gewässers abzustimmen, insbesondere dürfen lokal eingeleitete Maßnahmen nicht die Überschwemmungsgefahr in anderen Teilen der Flussgebietseinheit erhöhen.

Vier Lebensbereiche werden als schützenswertes Gut von der Richtlinie erfasst: 1. die menschliche



3 | Entlang der Maintalstraße errichtete Spundwände sind Teil der Hochwasserschutzmaßnahmen der Stadt Wertheim. Aber auch sie bieten bei steigenden Pegeln nur zeitlich befristet Schutz. Aufnahme: privat.

Gesundheit und das menschliche Leben, 2. die Umwelt, 3. das Kulturerbe und 4. die wirtschaftliche Tätigkeit. Die Gefährdung der menschlichen Gesundheit reicht dabei von der konkreten Ertrinkungsgefahr bei Hochwasser bis hin zur Verschmutzung des Trinkwassers durch Überschwemmung der Trinkwassergewinnungsanlagen. Die Umwelt muss v.a. vor austretenden Gefahr-

stoffen jeder Art geschützt werden, Tankstellen sind deswegen genauso in eine Betrachtung mit einzubeziehen wie beispielsweise Anlagen der chemischen Industrie. Zur wirtschaftlichen Tätigkeit notwendig ist die Aufrechterhaltung der Infrastruktur während eines Hochwasserereignisses. Die Versorgung mit Energie, die Offenhaltung der Transportwege muss gesichert sein. Mit der Bewahrung des Kulturerbes vor hochwasserbedingten nachteiligen Folgen sind wir bei dem Bereich, der auch uns Archivare betrifft.

Bevor ich ausführlicher auf das Arbeitsfeld Kulturerbe eingehe, soll zunächst die zeitliche Umsetzung der HWRM-RL dargestellt werden, die verschiedene Etappenziele auf dem Weg hin zu einem verbesserten Umgang mit dem Hochwasserrisiko vorsieht.

In einem ersten Schritt müssen die EU-Mitgliedsstaaten für ihre gesamte Fläche bis zum 22.12.2011 eine vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos erstellen (Art. 4 und 5 HWRM-RL). Es muss ermittelt werden, wie hoch die Eintrittswahrscheinlichkeit von Überschwemmungen ist und wie gravierend sich diese möglicherweise auf die vier genannten Lebensbereiche auswirken. Die Bewertung soll dabei auf der *Grundlage verfügbarer und leicht abzuleitender Informationen*, die aus verschiedenen Fachbereichen wie dem Umweltschutz, der Geologie und Hydrologie, aber auch der Geschichtswissenschaft (z.B. historische Hochwasserdaten) kommen, erstellt werden.

Einfließen soll diese vorläufige Risikobewertung dann in eine grafische Darstellung in Form von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten, welche bis zum 22.12.2013 auf den Weg gebracht sein müssen (Art. 6 HWRM-RL).

Gefahrenkarten zeigen die Areale, die im Falle eines HQ 10 (d.h. einer hohen Hochwasserwahr-

scheinlichkeit innerhalb einer Dekade), eines HQ 100 (d.h. mit einem Wiederkehrintervall von bis zu 100 Jahren) oder eines HQ extrem (Extremereignis von niedriger Wahrscheinlichkeit, *Jahrtausendflut*) überflutet werden. Dargestellt wird darin auch die jeweils zu erwartende Überschwemmungshöhe.

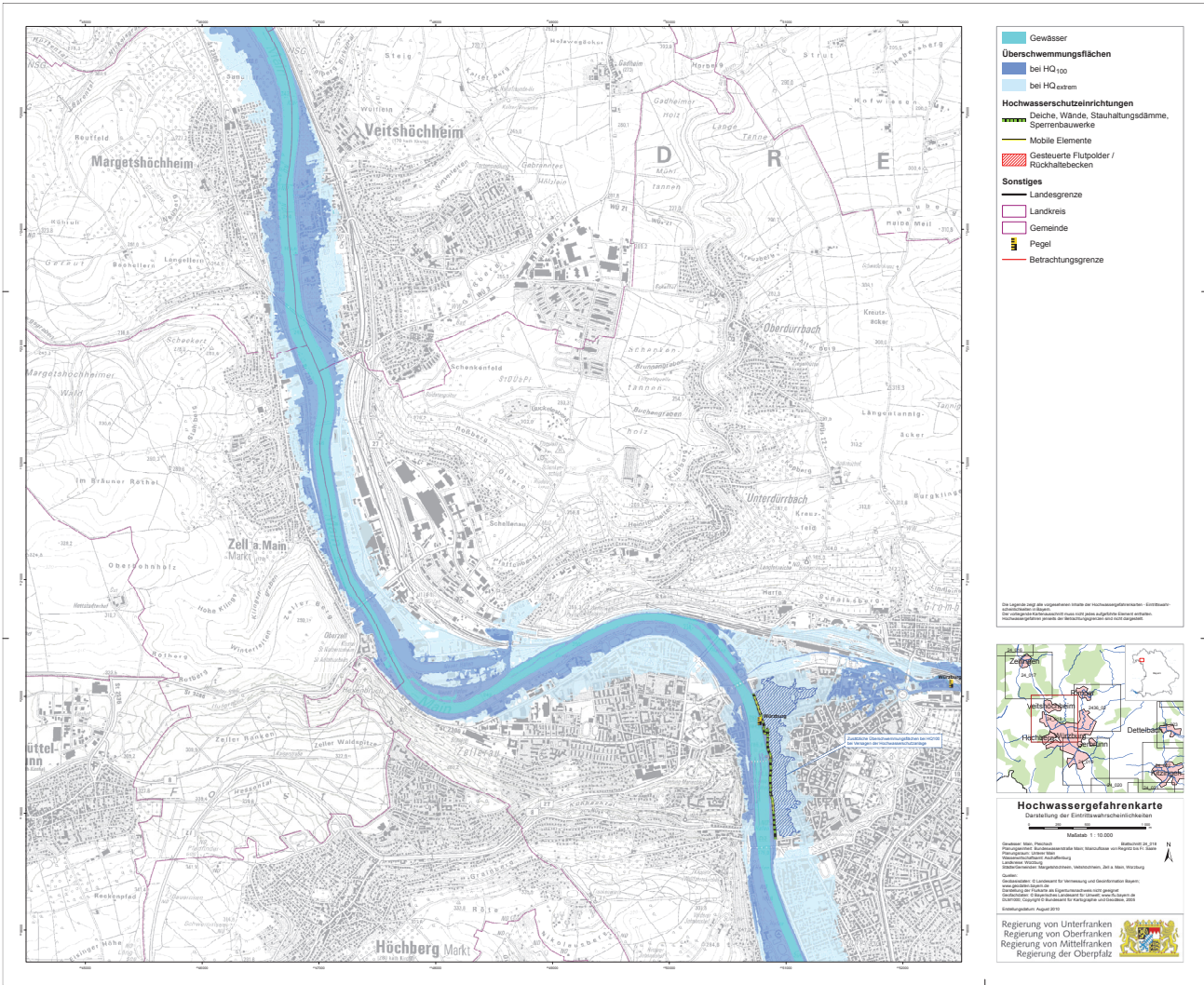
Risikokarten verzeichnen im Gegensatz dazu potenzielle hochwasserbedingte nachteilige Auswirkungen in den vier Szenarien menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeit. Sie beschreiben also, was gefährdet ist. In diese Karten können beispielsweise gefährdete Wohnbereiche, Industriebetriebe, Trinkwasserschutzgebiete oder auch Kulturdenkmale eingezeichnet sein.

Den Abschluss bilden dann Hochwasserrisiko-managementpläne, die bis 22.12.2015 erstellt sein müssen und konkrete Handlungsanleitungen zur Vermeidung bzw. Minderung von Hochwasserschäden und nachteiliger Folgen von Überschwemmungen enthalten (Art. 7 und 8 HWRM-RL).

Bestandteile der Managementpläne sind:

- die aus der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos gezogenen Schlussfolgerungen,
- die Hochwassergefahren- und -risikokarten,
- eine Beschreibung der Ziele des Hochwasserrisikomanagements,
- eine Beschreibung der zur Erreichung der Ziele zu ergreifenden Maßnahmen und deren Priorisierung.

Die Ergebnisse der aufgeführten Arbeitsschritte sind der Öffentlichkeit zugänglich zu machen (Art. 10 HWRM-RL). Die Publikation, vorzugsweise im Internet, dient der Information der Allgemeinheit und soll dazu beitragen, dass nicht nur öffentliche Stellen, sondern auch Privatpersonen, Firmen usw. ihr individuelles Risiko einschätzen und ggf. Abwehrstrategien entwickeln können. Beispiels-



4 | Hochwassergefahrenkarte Würzburg.
 Vorlage: Regierung von Unterfranken.
 Kartengrundlage: Topographische Karte 1:25.000 © Bayerische Vermessungsverwaltung 2012.

weise kann bei der Suche nach einem geeigneten Bauplatz eine Abwägung geeigneter und weniger geeigneter Standorte auf dieser Basis stattfinden, so dass spätere Beeinträchtigungen durch Hochwasser schon im Vorfeld minimiert werden können.

Der aktuelle Stand der Umsetzung der HWRM-RL im Südwesten kann auf den Seiten des baden-württembergischen Umweltministeriums (<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/71523>) und des bayerischen Landesamts für Umwelt (http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_vorlaeufige_risikobewertung/index.htm) abgerufen werden.

Im sechsjährigen Abstand müssen die erstellten Risikobewertungen, Karten und Managementpläne überprüft und erforderlichenfalls an veränderte Gegebenheiten angepasst werden (Art. 14 HWRM-RL).

Übergangsmaßnahmen ermöglichen es den Ländern, bereits vorhandene Bewertungen, Aktionspläne, Kartenmaterial etc., die den Anforderungen der HWRM-RL entsprechen, zu übernehmen (Art. 13 HWRM-RL).

Für den Main, der nur wenige Kilometer vom Tagungsort Bronnbach entfernt die Landesgrenze zu Bayern markiert, kann eine solche Hochwassergefahrenkarte schon gezeigt werden. Die Risikogebiete im Bereich des Mainlaufs waren bereits im Rahmen des Hochwasseraktionsplans Main identifiziert worden. Aus dieser Arbeit resultierende Karten konnten daher direkt in den Hochwasserrisikoplan überführt werden und stehen bereits auf einem Projektserver zur Information im Internet bereit (www.hwrmp-main.de).

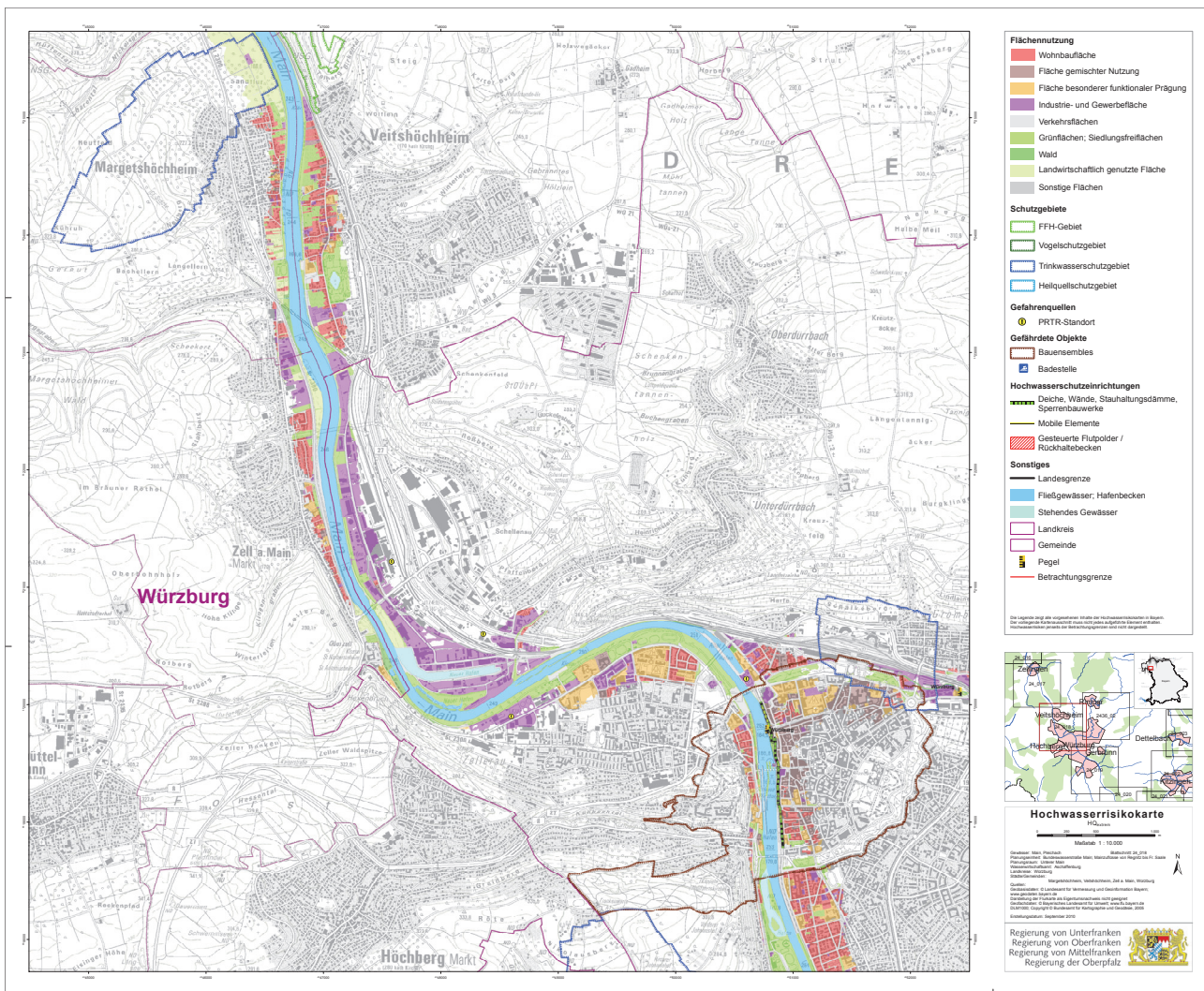
In Baden-Württemberg sind für die Umsetzung der HWRM-RL auf unterster Ebene die Regierungspräsidien zuständig. Für das Teilgebiet Kultur ist federführend das Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart tätig. Zum Kulturerbe zählen dabei die Archive der verschiedenen

Träger (kommunal, staatlich, kirchlich, privat), die wissenschaftlichen Bibliotheken sowie Bibliotheken, die national wertvolles Bibliotheksgut verwahren, Museen und Sammlungen, Kulturdenkmale nach Definition des Denkmalschutzgesetzes sowie die staatlichen Schlösser und Gärten.

Um den Sachverstand der verschiedenen Institutionen aus dem Kulturbereich in die Ausarbeitung von Maßnahmen zum Hochwasserrisikomanagement einzubeziehen, wurde am 07.07.2009 eine Arbeitsgemeinschaft Kulturerbe gegründet. Ihr gehören derzeit neben dem Landesamt für Denkmalpflege (Dr. Michael Hascher), welches den Bereich der Kulturdenkmale abdeckt, das Landesarchiv Baden-Württemberg (Dr. Clemens Rehm, Frieder Kuhn), die Arbeitsgemeinschaft der Stadtarchive beim Städtetag Baden-Württemberg (Stefan Benning M.A.), die Arbeitsgemeinschaft der Kreisarchive beim Landkreistag Baden-Württemberg (Claudia Wieland) und die Landesstelle für Museumsbetreuung (Dr. Axel Burkarth) an. Die Bibliotheken sowie die staatlichen Schlösser und Gärten sind bisher noch nicht mit einem eigenen Vertreter präsent.

Die Aufgabe der AG Kulturerbe bestand zunächst darin, sich einen ersten Überblick über hochwasserbedrohte Standorte von Kultureinrichtungen zu verschaffen. Basisinformationen dafür konnten aus den in den Institutionen vorhandenen Datensammlungen gezogen werden. Für den Archivbereich wurde zusätzlich eine Umfrage bei den Stadt- und Kreisarchiven gestartet, um auch die Lage von eventuell vorhandenen Außendepots bzw. örtlichen Teilarchiven in Erfahrung zu bringen.

Das Landesamt für Denkmalpflege hat die nach verschiedenen Kategorien des Denkmalschutzgesetzes als Kulturdenkmal eingestufteten Baudenkmale, Kleindenkmale und Sachgesamtheiten eruiert,



5 | Hochwasserrisikokarte Würzburg.
 Vorlage: Regierung von Unterfranken.
 Kartengrundlage: Topographische Karte 1:25.000 © Bayerische
 Vermessungsverwaltung 2012.

wobei für die weitere Betrachtung vorläufig nur die Denkmale mit besonderer Bedeutung im Sinne von § 12 Denkmalschutzgesetz herangezogen werden. Der Bestand an Museen und Sammlungen konnte aus dem von der Museumsstelle betreuten Adressatenkreis zusammengestellt werden.

Die Zusammenführung bereits erstellter Hochwassergefahrenkarten mit den ermittelten Standorten der Kulturgüter ergibt als Schnittmenge das potenziell von Hochwasserschäden betroffene Kulturerbe. Bisher konnte diese vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos für wenige Pilotgebiete wie die Starzel und die Dreisam durchgeführt werden.

Um die Fülle an vorhandenen Daten in den Griff zu bekommen und da wegen der begrenzten Arbeits- und Zeitkapazitäten Prioritäten zu setzen sind, musste ein Bewertungsmaßstab für das Hochwasserrisiko entwickelt werden. Er setzt sich aus den zwei Faktoren Schadenspotenzial und Eintrittswahrscheinlichkeit zusammen, die zueinander in Relation gesetzt werden.

Als Bemessungsgrundlage für das Schadenspotenzial wurde die bei einem Hochwasser zu erwartende Wasserhöhe festgelegt. Eine Wasserhöhe < 0,30 m wurde mit der Messzahl 1, eine Höhe zwischen 0,30 und 1,00 m mit 2, und ein Wasserstand über 1,00 m mit 3 angesetzt. Die Bemessungsgrundlage für die Eintrittswahrscheinlichkeit ist ebenfalls dreistufig mit HQ extrem = 1, HQ 100 = 2 und HQ 10 = 3.

Das Risiko berechnet sich danach aus dem möglichen Schadenspotenzial (grob gesagt: wie hoch steht das Wasser in der Einrichtung, am Kulturdenkmal) multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit, überhaupt von einem Hochwasser betroffen zu sein.

Zwei Beispiele sollen dies illustrieren:

1. Gemeindearchiv Kirchzarten, Magazin im UG:

(Wasserhöhe über 1 m =) 3 x (Lage im HQ 10 =)
3 → 9 = hohes Risiko

2. Pfarrkirche Umkirch:

(Wasserhöhe 0,4 m =) 2 x (Lage im HQ 100 =)
2 → 4 = mittleres Risiko

Notwendig ist allerdings eine Plausibilisierung des auf diese Weise errechneten Risikos und die Überprüfung anhand detaillierter Informationen. Befände sich das Kirchzartener Archiv beispielsweise im oberen Stockwerk, so wäre das Risiko natürlich geringer – aus der Adressangabe allein lässt sich das jedoch nicht ableiten.

Arbeitsaufgabe der AG Kulturerbe in den zurückliegenden Monaten war die Erstellung eines Handlungsleitfadens zur Hochwasservor- und -nachsorge. Dabei handelt es sich um eine Zusammenstellung von bereits zahlreich im Internet abrufbaren Informationen zu Maßnahmen im Vorfeld eines drohenden Hochwassers, zur Sicherung von Einrichtungen und Inventar bei Hochwasser und zum Umgang mit wassergeschädigten Objekten. Der Leitfaden soll hauptsächlich denjenigen Eigentümern von Kulturgut bzw. Betreibern von Kultureinrichtungen Hilfestellung geben, die sich mit der Thematik noch nicht eingehend beschäftigt haben, über keine individuellen Notfallpläne verfügen, aber sich im Bedarfsfall schnell einige grundlegende Kenntnisse verschaffen möchten. Die Zusammenstellung ist auf den Internetseiten des Umweltministeriums unter <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/83244/> zu finden.

Eine Schwierigkeit, die sich im Augenblick zeigt, ist der durch die HWRM-RL vorgegebene enge Zeitplan. Die Fertigstellung der vorläufigen Risikobewertung für ganz Baden-Württemberg bis Ende 2011 ist ein sehr ehrgeiziges Ziel.

Auch datenschutzrechtliche Fragen sind in Ein-

zelfällen abzuklären. Die Kartierung der Standorte von in Privatbesitz befindlichen Kulturgütern in den öffentlich zugänglichen Hochwasserrisikokarten kann nur mit Zustimmung der Eigentümer erfolgen. Es ist nachvollziehbar, dass beispielsweise eine Adelsfamilie nicht unbedingt auf den Standort ihres Archivs hinweisen möchte. Es sollen durch die Vorsorge gegen Hochwasserschäden schließlich nicht andere Gefahrenpotenziale wie Diebstahl oder Vandalismus gefördert werden. Noch ungeklärt ist auch, wie bisher nicht erfasste Kulturgüter außerhalb der beschriebenen Zuständigkeiten berücksichtigt werden können. Zu denken ist hier v.a. an private Sammlungen, die ebenfalls schützenswert sind.

Als Zwischenergebnis der bisherigen Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie kann man auch konstatieren, dass ein Problembewusstsein bei den entsprechenden Kultureinrichtungen geschaffen wurde. Durch die Vermittlung der Arbeit der AG Kulturerbe in den jeweiligen Arbeitsgemeinschaften und in diversen Gremien der Kulturinstitutionen wie auch durch eine Veranstaltung wie den Südwestdeutschen Archivtag ist das Thema präsent.

Die Zukunft wird vor allem die behörden- und ressortübergreifende Aufstellung der Hochwasserrisikomanagementpläne bringen. Das Management des Hochwasserrisikos umfasst dabei *die systematische Identifizierung, Koordination und Umsetzung der Maßnahmen, die in einer Region nachteilige Folgen von Hochwasser vermeiden oder verringern*. Hauptziele sind:

- Vermeidung neuer Risiken,
- Verringerung bestehender Risiken,
- Verringerung von Risiken während eines Hochwassers,
- Verringerung von Risiken nach einem Hochwasser.

Jede Institution kann und muss unabhängig davon für sich, auf den individuellen Bedarf ausgerichtet, Notfall- und Alarmierungspläne erarbeiten, die uns alle dem Ziel der Sicherung und Erhaltung unseres kulturellen Erbes näherbringen.

PAUL BELLENDORF

Der Einsatz von naturwissenschaftlichen Verfahren zur Sicherung von Archivgut

Naturwissenschaftliche Verfahren sind ein wichtiges Werkzeug, um den Bestand an Archivgut zu identifizieren und um seinen Fortbestand dauerhaft zu sichern. Die vielfältigen, unterschiedlichen Methoden lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: In die Analyse des eigentlichen Archivgutes und in Verfahren zur Bestimmung der Aufstellungs- und Lagerbedingungen.

Beim Archivgut kann man unterscheiden nach Untersuchungen zur Bestimmung des Informationsträgers, also Papier, Pergament usw., und der eigentlichen Information, also Farbpigment, Bindemittel usw., sowie Applikationen, die mit dem Archivgut verbunden sind, zum Beispiel Siegel, Schließen und ähnliches. Zur Überwachung der Aufstellungs- und Lagerbedingungen sollten die Parameter Temperatur, relative Luftfeuchte, Licht (Lux, UV, Farbtemperatur) sowie Schadgase erfasst werden. Letztere können aus dem Verpackungs- und Vitrinenmaterial, aus dem Archivgut selbst, aus der Umgebung, aber auch von vormaligen Restaurierungs- und Konservierungsmaterialien stammen.

Analyseverfahren

Die Anzahl an naturwissenschaftlichen Methoden zur Identifikation von Kunst- und Archivgut ist nahezu unüberschaubar. Sie reichen von der Elementbestimmung mittels (nass-)chemischer Analytik bis hin zu hochtechnologischen Methoden wie der Instrumentellen Neutronenaktivierungsanalyse (INAA), für die ein Forschungsreaktor mit einer Neutronenquelle benötigt wird.

Die Materialanalysen lassen sich unterteilen nach: Bestimmung traditioneller physikalischer Eigenschaften, nach optischen und nach atomphysikalischen Methoden (Tabelle 1).

Tabelle 2 gibt beispielhaft eine Übersicht über die unterschiedlichen strahlungsinduzierten Nachweisverfahren. Hier ist in den Zeilen untereinander aufgetragen, welche Einstrahlung auf die Probe wirkt, und in den Spalten ist abzulesen, welche Strahlung wiederum zum Nachweis benutzt wird. So wird beispielsweise bei der Auger-Elektronenspektroskopie (AES) die Probe mit Ionen beschossen, wodurch Elektronen aus dem Material herausgelöst werden, die als Elementnachweis bei der AES detektiert werden.

traditionelle physikalische Eigenschaften	optische Methoden	atomphysikalische Methoden
Härte	(Licht-)Mikroskopie	Atomabsorptionsspektalanalyse (AAS)
Porosität	Radiographie	Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)
Dichte	Computertomografie (CT)	RAMAN-Spektroskopie
Rauigkeit	Magnetresonanztomografie	Infrarotspektroskopie (IR)
Korngröße	Röntgendiffraktometrie (XRD)	Ionenchromatographie (IC)
Zugfestigkeit	Rasterelektronenmikroskopie (REM)	Massenspektrometrie (MS)

Tabella 1 | Beispiele für physikalische Materialeigenschaften, optische und atomphysikalische Analyse-Methoden

		Nachweis von			
		Licht	Röntgen- u. -Strahlung	Elektronen	Ionen
Einstrahlung von	Licht	OES, LMSA, AAS, Ramansonde		ESCA od. PES	LAMMA
	Röntgen- u. -Strahlung		XRF, XRD, -AA, MS	ESCA od. Röntgen-PES	
	Elektronen		(Elektronen-) Mikrosonde	REM, AES	
	Ionen		PIXE, Ionen-Mikrosonde, PAA	AES	PNA, RBS, SIMS

Tabella 2 | Übersicht über strahlungsinduzierte Nachweisverfahren (Mommson, S. 92). Eine Auflösung der Abkürzungen findet sich im Glossar.

In der Regel benötigen die genannten Methoden stationäre Analysegeräte. Dies hat zur Folge, dass entweder das zu untersuchende Objekt oder eine Probe davon ins Labor zur Analyse gebracht werden muss. Zumeist ist eine Probenentnahme unumgänglich, da nur mit den wenigsten Analysegeräten großformatige Objekte analysiert werden können. Abbildung 1 zeigt eine solche Ausnahme: Durch einen zusätzlich montierten externen Analysearm können mit diesem speziellen FTIR-Gerät an einem Objekt gezielt einzelne Bereiche im Labor untersucht werden.



1 | FTIR im Fraunhofer ISC-Kulturgutlabor in Bronnbach mit externem Probenarm zur zerstörungsfreien Analyse von Kunst- und Archivgut. Aufnahme: K. Dobberke für Fraunhofer ISC.

Probeentnahme

Die benötigte Probenmenge hat im Laufe der Jahre signifikant abgenommen. Heute genügen selbst für quantitative Analysen oft bereits wenige Milligramm an Material (s. Abb. 3). Daher ist bei der Entnahme von Probematerial aber unbedingt darauf zu achten, dass dieses repräsentativ für das gesamte Objekt ist. Häufig wird von den Besitzern die Probenentnahme nur an gestörten Befundbereichen geduldet, an denen beispielsweise bereits Verfärbungen oder strukturelle Veränderungen der Oberfläche bemerkbar sind. Solche Stellen sind aber gerade nicht charakteristisch für ein ansonsten ungestörtes Werk. Bei der Entnahme der Proben ist äußerste Sauberkeit geboten. Wenn das Grundmaterial analysiert werden soll, dann muss bei der Entnahme besonders darauf Wert gelegt werden, dass keinerlei Auflagerungen bzw. Korrosionsprodukte mit entnommen werden. Jede Verunreinigung des Probenmaterials ist zu vermeiden.

Alle Proben müssen *eindeutig* beschriftet werden, und zu jeder Probe gehört ein *aussagekräftiges* Probeprotokoll. In diesem sollen alle relevanten Informationen zum Objekt und zur Probe zusammengefasst sein. Dazu gehören unter anderem ein Verzeichnis der Probeentnahmestellen, Herkunft des Objektes, aber auch Informationen zur Restaurierungsgeschichte und zur Lagerung.

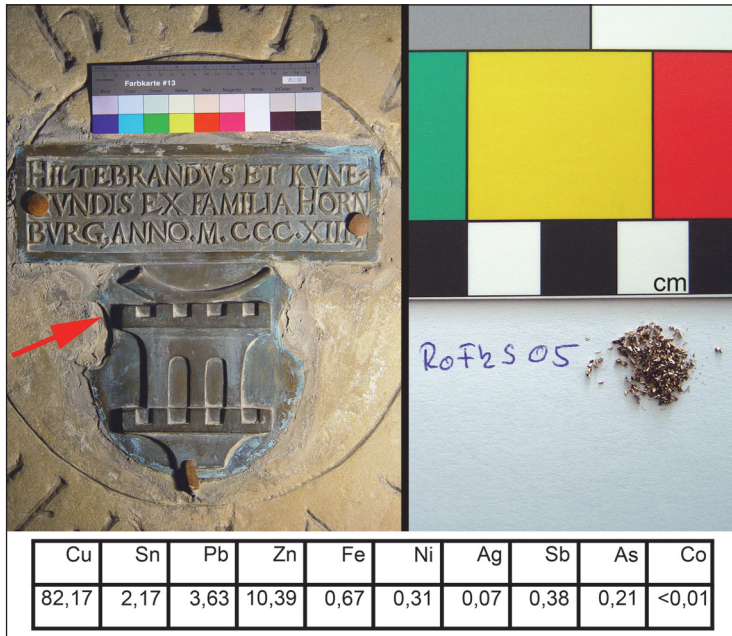
Mobile Methoden

In den letzten Jahren sind vermehrt mobile Analysegeräte auf den Markt gekommen. So sind heute beispielsweise mobile RFA (Abb. 2) oder RAMAN-Geräte erhältlich. Mit diesen lassen sich vor Ort einfache Element- oder Materialbestim-



2 | Ein mobiles Röntgenfluoreszenzanalysegerät (RFA) zur Bestimmung der Legierung. Bereits nach wenigen Sekunden kann auf dem Display die Oberflächenzusammensetzung abgelesen werden. Bei dem hier gemessenen Objekt handelt es sich also um eine Legierung mit den Hauptbestandteilen Kupfer Cu (77,5 %), Zink Zn (17,5 %) und Blei Pb (2,1 %).

mungen durchführen. In der Praxis haben diese Geräte momentan noch einige Nachteile. Die Messgenauigkeit liegt weit hinter der von stationären Analysegeräten. Vor allem Spurenelemente lassen sich häufig nicht nachweisen. Es werden nur die Oberflächen gemessen, einschließlich aller applizierten Restaurierungs- und Konservierungsmaterialien sowie aller Korrosionsprodukte. Eine Präparation der Messstelle ist daher zu empfehlen. Zur Messung benötigen viele der Geräte eine ebene Fläche. Analysen an dreidimensionalen Objekten sind daher unter Umständen schwierig.



3 | Verzeichnis der Entnahmestelle (roter Pfeil oben links), Übersicht der entnommenen Probenmenge (oben rechts) und Ergebnis der zugehörigen Elementanalyse mittels AAS (unten), Angaben in Gewichtsprozent (Tabelle aus Bellendorf, S. 267).

Trotz dieser Nachteile erweitern die mobilen Geräte das Feld der Analysemethoden aber entscheidend. Erstmals sind auch vor Ort (zerstörungsfreie) Reihenuntersuchungen von Kulturgut möglich.

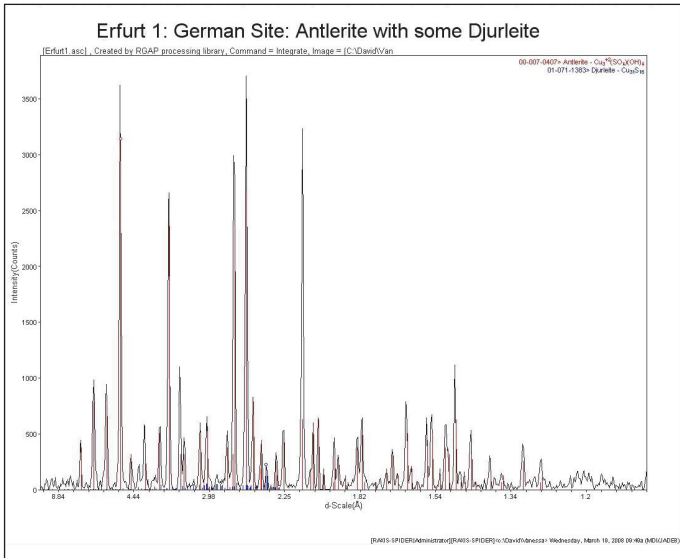
Auswertung

Die Auswertung von Analyseergebnissen ist gerade bei Kulturgut ein komplexer und alles andere als trivialer Vorgang. Während die Auswertung von reinen Elementbestimmungen, wie beispielsweise mit der Methode der RFA oder AAS, noch relativ unproblematisch ist (Abb. 3), so ist die Interpreta-

tion von kristallinen Phasen mittels XRD (Abb. 4) ungleich komplexer. Eine Auswertung solcher Ergebnisse bedarf Vergleichsdatenbanken, in denen die Spektren für bereits gemessene (Rein-)Substanzen als Standards hinterlegt sind. Je umfangreicher die Datenbank und je spezieller sie auf die besonderen Bedürfnisse konservatorischer und restauratorischer Fragestellungen ausgelegt ist, umso besser. Die Schwierigkeit in der Interpretation der Ergebnisse liegt darin, dass in der Regel zur Analyse keine Reinsubstanzen, sondern Mischungen vorliegen. Um aus den sich zum Teil überlagernden Spektren die richtigen Substanzen herauszulesen, bedarf es einen erfahrenen Wissenschaftlers. Die Fragestellungen an Analysen im Bereich von Kulturgut gehen häufig über die reine Materialbestimmung hinaus. In vielen Fällen erhofft man sich durch die Analysen auch Rückschlüsse auf eine zeitliche Einordnung der Proben und damit auch der des Gesamtobjektes. Wenn beispielsweise bei einer Analyse ein Titanweiß-Pigment (TiO_2) nachgewiesen wird, dann ist das ein deutliches Zeichen, dass das untersuchte Material nicht vor 1870 appliziert worden sein kann, da erstmals in diesem Jahr ein Titanpigment aus Rutil hergestellt wurde (Wehlte, S. 138). Das Pigment dient in diesem Fall als terminus post quem für das Probematerial.

Überwachung von Lager- und Aufstellungsbedingungen

Die Überwachung der Aufstellungs-, Lagerungs-, und gegebenenfalls der Transportbedingungen ist aus konservatorischer Sicht eine unverzichtbare Maßnahme. Nur so kann sichergestellt werden, dass das sensible Kulturgut nicht irreversibel geschädigt wird und langfristig verloren geht.



4 | XRD-Analyse der Kupferphasen einer metallenen Grabplatte aus dem Erfurter Dom.

Datenlogger zur Überwachung von Temperatur und Luftfeuchte

Eine kontinuierliche Überwachung von Temperatur und relativer Luftfeuchte sollte heutzutage flächendeckend in Museen und Depots Standard sein, wird aber doch vielerorts nicht regelmäßig durchgeführt.

Zur Überwachung können entweder analoge Thermohygrographen (Abb. 5, links) oder digitale Datenlogger (Abb. 5, rechts) verwendet werden. Der Vorteil ersterer besteht darin, dass vor Ort mit einem Blick erkannt werden kann, ob ein Problem vorliegt, beispielsweise aufgrund eines defekten Luftbefeuchters. Der Nachteil ist, dass diese Geräte einen regelmäßigen Austausch der Papiere und eine Wartung der Stifte benötigen.

Aber auch digitale Datenlogger bedürfen einer

regelmäßigen Wartung und Pflege. Die Daten müssen abgerufen werden (es gibt auch Funkmodelle, die die Daten direkt zum PC senden können) und die Batterien müssten regelmäßig überprüft und gegebenenfalls ausgetauscht werden.

Sowohl bei den analogen als auch bei den digitalen Messgeräten muss in regelmäßigen Abständen die Kalibrierung überprüft werden. Dies wird im Museums- und Archivaltag nur allzu oft vergessen.



5 | Links ein klassischer Thermohygrograph; rechts ein Datenlogger zur Erfassung der Parameter Temperatur und relativer Luftfeuchte sowie zusätzlich von UV-Strahlung und Lichtintensität in Lux; Foto nicht maßstäblich.

Der Einsatz von schlecht eingestellten oder nicht kalibrierten Messgeräten ist zwar in jedem Fall besser als überhaupt keine Überwachung von Temperatur und relativer Luftfeuchte, trotzdem muss die Funktionsfähigkeit der Geräte sichergestellt werden, um das wertvolle Kulturgut zu schützen.

Dosimeter

Mittels Dosimetern wird die Einwirkung von Strahlung, Schadgasen, Licht usw. über einen gewissen Zeitraum auf ein Messmedium integrativ detektiert. Das heißt, mit einem Dosimeter ist man nicht in der Lage, die Bedingungen an einem Messstandort zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bestimmen, wie es mit einem Datenlogger möglich ist. Die Summe, beziehungsweise die Auswirkung durch die Belastung über einen gewissen Expositionszeitraum, wird mit dem Dosimeter kumulativ erfasst.

Schadensdosimeter

Mittels Schadensdosimetern kann man die Lagerungs- bzw. Aufstellungsbedingungen von Kulturgut über einen längeren Zeitraum beurteilen, beispielsweise in einer Schauvitrine, in einem Depot oder während eines Transports. Am Markt sind unterschiedliche Systeme kommerziell erhältlich, mit jeweils unterschiedlichem Schwerpunkt.

Als Beispiel wird im Folgenden der Glasdosimeter des Fraunhofer ISC (Abb. 6) exemplarisch näher vorgestellt. Dieser reagiert vor allem auf die Umgebungsparameter -Temperatur, -relative Luftfeuchte und -organische Säuren, wie beispielsweise Essigsäure (Grøntoft, S. 415). Während der Exposition beginnt unter dem Einfluss dieser drei Parameter die Glasoberfläche sukzessiv zu korrodieren. Unter anderem bildet sich auf der Oberfläche eine wasserhaltige Schicht aus, die so genannte Gelschicht. Diese ist ein Maß für die Umgebungsbedingungen und gibt Auskunft über das korrosive Potential der Aufstellungsbedingung.

Die Auswertung der exponierten Dosimeter erfolgt im Labor. Der Wassergehalt der Glasplättchen

wird vor und nach der Exposition mittels FTIR bestimmt. Aus der Differenz der beiden Werte ergibt sich ein Delta-Wert, welcher direkt Aussagen über die Bedingungen während des Expositionszeitraums gibt.



6 | Glasdosimeter vom Fraunhofer ISC. Links der Glasblock, aus dem die Dosimeter geschnitten werden. Rechts das fertige Dosimeter. Im Hintergrund sieht man ein Dosimeter an einem historischen Glasfenster.

Aufnahme: K. Dobberke für Fraunhofer ISC.

Hat sich nach dem Expositionszeitraum (in der Regel zwischen drei und sechs Monaten) nur eine sehr dünne Schicht mit kaum eingelagertem Wasser gebildet, dann ist die Umgebung für die Lagerung von Kunst- und Archivgut geeignet. Wird hingegen eine dicke, sehr wasserhaltige Schicht nachgewiesen, dann sind die Bedingungen nicht optimal, und eine Änderung der Aufstellungs- oder Lagerbedingungen muss unbedingt erfolgen.

Der große Vorteil der Dosimeter besteht darin, dass diese über einen längeren Zeitraum exponiert werden. Dadurch wird auch das korrosive Potential kleiner Schadstoffmengen erfasst. Dies ist vor allem bei der Beurteilung von geschlossenen Schauvitriinen relevant. In vielen älteren Vitriinen sind die Luftaustauschraten viel zu gering, sodass sich beispielsweise Formaldehyd, welches aus allen Spanplatten ausgast, im Inneren akkumulieren kann. Wird nun die Vitrine geöffnet, etwa um eine aktive Schadstoffmessung durchzuführen, so findet ein Luftaustausch mit der Umgebung statt, was in der Folge zu deutlich niedrigeren Messergebnissen der Schadstoffkonzentration führt. Studien mit Dosimetern sind hingegen per se für einen längeren Zeitraum angelegt.

Lichtdosimeter

Gerade für Archivgut, welches bei Tages- oder Kunstlicht, beispielsweise im Rahmen einer Ausstellung, exponiert wird, ist die Überwachung von Licht ein entscheidendes Kriterium. Dies kann entweder mit speziellen Datenloggern erfolgen (Abb. 5 rechts) oder aber mittels Dosimetern. Das in Abbildung 7 gezeigte Lichtdosimeter LightCheck® Sensitive besteht aus einer blauen Schicht auf einem Glasträger. Unter Lichteinfluss verändert die Schicht kontinuierlich ihre Farbe. Da eine Korrelation zwischen Farbintensität und Lichteinfluss besteht, kann durch einen Vergleich der Farbveränderung der Schicht mit einer Referenzskala ein Rückschluss auf die Lichtbelastung in Luxstunden gezogen werden.

Mittels der Lichtdosimeter kann in einfachster Weise überprüft werden, wie hoch die Lichtbestrahlung auf ein Objekt über einen gewissen Expositionszeitraum ist. Im musealen Kontext eignet sich die Methode ideal, um den tatsächlichen integrativen Lichteinfall auf lichtsensibles Archivgut zu überprüfen, beispielsweise in einer Schauvitrine.



7 | Lichtdosimeter LightCheck® Sensitiv mit Vergleichsskala (Aufnahme: K. Dobberke für Fraunhofer ISC). Durch einen Vergleich der Farbe des Dosimeters mit der Skala kann auf die maximale Belichtungsdauer in Luxstunden im Expositionszeitraum geschlossen werden, siehe Tabelle 3.

Beleuchtungsstufe	Belichtungsdauer (in lux h)
4S	> 340.000
3S	200.00 – 340.000
2S	80.000 – 240.000
1S	60.000 – 100.000
0S	< 60.000

Tabelle 3 | Beleuchtungsstufen der LightCheck® Sensitive-Dosimeter, vergleiche Abbildung 8, und der zugehörigen Belichtungsdauer.

Zusammenfassung

Die Vorteile von naturwissenschaftlichen Methoden und Verfahren zur Sicherung von Archivgut sind unbestreitbar. Nur durch den Einsatz solcher Methoden können verwendete Materialien und kunsthandwerkliche Techniken eindeutig bestimmt und deren Verwendung verstanden werden.

Der dauerhafte Erhalt von Archivgut kann nur durch eine kontinuierliche Überwachung der Aufstellungs- und Lagerbedingungen garantiert werden. Ein Monitoring der Parameter Temperatur und der relativen Luftfeuchte sollte heutzutage flächendeckend Standard sein. Wenn sensibles Archivgut in einer Vitrine präsentiert wird, dann ist darüber hinaus eine Kontrolle der Lichtbelastung dringend zu empfehlen. Hierzu eignen sich zum Beispiel spezielle Lichtdosimeter.

Eine einfache Methode zur Überprüfung der Qualität von Aufstellungs- und Lagerungsbedingungen für Kunst- und Kulturgut sind Frühwarn-Schadensdosimeter. Diese reagieren sensibel auf die Anwesenheit von schadhaften Stoffen, selbst in sehr geringen Konzentrationen, und zeigen dadurch das schädigende Potential des Aufstellungsortes an. Dosimeterstudien sollten idealerweise rechtzeitig zur Überprüfung eingesetzt werden, noch bevor das Kulturgut Schaden genommen hat.

Die Auswertung der naturwissenschaftlichen Ergebnisse sollte immer im interdisziplinären Dialog zwischen Naturwissenschaftler, Kunsthistoriker, Archivar und Restaurator erfolgen. Nur durch den fachlichen Austausch können aus den Analyseergebnissen die richtigen Interpretationen und, falls notwendig, Handlungsanweisungen geschlossen werden.

Glossar

AAS =	Atomabsorptionsspektrometrie
AES =	Auger-Elektronenspektroskopie
ESCA =	Elektronenspektroskopie für die chemische Analyse
FTIR =	Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometrie
γ-AA =	Gamma-Aktivierungsanalyse
INAA =	Instrumentelle Neutronen-Aktivierungsanalyse
LAMMA =	Laser-Mikrosonden-Massenanalyse
LMSA =	Laser-Mikroemissionsspektrometrie
Mikrosonde =	Elektronen-Mikrosonde
MS =	Mößbauer-Spektroskopie
OES =	Optische Emissionsspektrometrie
PAA =	Teilchen-Aktivierungsanalyse
PES =	Photoelektronenspektroskopie
PIXE =	Teilcheninduzierte Röntgenfluoreszenzanalyse
PNA =	Analyse durch prompte Kernreaktionen
Ramansonde =	Analyse des Molekülaufbaus durch Ramanspektroskopie
RBS =	Rutherford-Rückstreuanalyse
REM =	Rasterelektronenmikroskop
RFA =	Röntgenfluoreszenzanalyse
SIMS =	Sekundärionen-Massenspektroskopie
XRD =	Röntgendiffraktion
XRF =	Röntgenfluoreszenzanalyse

Literatur

Paul *Bellendorf*: Metallene Grabplatten aus Franken und Thüringen aus dem 15. Bis 18. Jahrhundert – eine interdisziplinäre Studie zum Denkmalbestand und seiner Gefährdung durch Umwelteinflüsse. Bamberg 2007.

Terje *Grøntoft*, Marianne *Odlyha*, Peter *Mottner*, Elin *Dahlin*, Susana *Lopez-Aparicio*, Slawomir *Jakiela*, Mikkel *Scharff*, Guillermo *Andrade*, Michal *Obarzanowski*, Morten *Ryhl-Svendsen*, David *Thickett*, Stephen *Hackney* und Jørgen *Wadum*: Pollution monitoring by dosimetry and passive diffusion sampling for evaluation of environmental conditions for paintings in microclimate frames. In: *Journal of Cultural Heritage* 11/4 (2010) S. 411-419.

Hans *Mommsen*: Archäometrie: neuere naturwissenschaftliche Methoden und Erfolge in der Archäologie. Stuttgart 1986.

Kurt *Wehlte*: Werkstoffe und Techniken der Malerei. Ravensburg 2000.



Die Autorinnen und Autoren

DR. PAUL BELLENDORF
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung
Kompetenzbereich Werkstoffchemie
Fachbereich Kulturgüterschutz
Bronnbach Nr. 28, 97877 Wertheim

BIRGIT GELLER
Landschaftsverband Westfalen-Lippe
Archivamt für Westfalen
Jahnstraße 26, 48147 Münster

PROF. ALEXANDRA JEBERIEN
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin

DR. ANNA HABERDITZL
Landesarchiv Baden-Württemberg
Abt. Institut für Erhaltung von Archiv-
und Bibliotheksgut
Schillerplatz 3, 71638 Ludwigsburg

DR. PETER MÜLLER
Landesarchiv Baden-Württemberg
Abt. Staatsarchiv Ludwigsburg
Arsenalplatz 3, 71638 Ludwigsburg

DR. MIREILLE OTHENIN-GIRARD
Staatsarchiv des Kantons Basel-Landschaft
Wiedenhubstraße 35, 4410 Liestal
Schweiz

DR. CHRISTOF STRAUSS
Landesarchiv Baden-Württemberg
Abt. Staatsarchiv Freiburg
Colombistraße 4, 79098 Freiburg

CLAUDIA WIELAND
Landesarchiv Baden-Württemberg
Abt. Staatsarchiv Wertheim (Archivverbund
Main-Tauber)
Bronnbach Nr. 19, 97877 Wertheim

