2019

55

Schützen, Pflegen und Erhalten –

Entwicklungen in der präventiven Konservierung

Beiträge des 13. Konservierungswissenschaftlichen Kolloquiums
in Berlin/Brandenburg am 15. November 2019
in der James-Simon-Galerie, Staatliche Museen zu Berlin

Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums

Schützen, Pflegen und Erhalten – Entwicklungen in der präventiven Konservierung

Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege
und Archäologisches Landesmuseum

Schützen, Pflegen und Erhalten – Entwicklungen in der präventiven Konservierung

Beiträge des 13. Konservierungswissenschaftlichen Kolloquiums in Berlin/Brandenburg
am 15. November 2019 in der James-Simon-Galerie, Staatliche Museen zu Berlin

Mit Beiträgen von

Lutz Baumann, Stefan Becker, Thomas Drachenberg, Wulf Eckermann, Ellen Egel, Manfried Eisbein, Daniel Fitzenreiter, Peter Giere et al., Undine Köhler, Simon Kunz, Bill Landsberger, Thomas Löther, Martin Mach, Christiane Pfitzner, Stefan Röhrs, Sandra Schorbach, Andreas Schulze, Stefan Simon et al.

Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege
und Archäologischen Landesmuseums, Nr. 55 (2019)

MICHAEL IMHOF VERLAG

Umschlagabbildung: München, Detail des sogenannten „Brunnenbuberls“ von Matthias Gasteiger, 1895, heutiger Standort östlich des Karlstors in der Fußgängerzone, Foto: M. Mach, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege Zentrallabor

Herausgeber:
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum
Landeskonservator Prof. Dr. Thomas Drachenberg
Wünsdorfer Platz 4–5
D-15838 Zossen (Ortsteil Wünsdorf)

Redaktion:
Ellen Egel
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum

© 2019
Michael Imhof Verlag GmbH & Co. KG
Stettiner Straße 25 | D-36100 Petersberg
Tel. 0661/29 19 166-0 | Fax 0661/29 19 166-9
info@imhof-verlag.de | www.imhof-verlag.com

Gestaltung und Reproduktion: Anja Schneidenbach, Michael Imhof Verlag
Lektorat: Dorothée Baganz, Michael Imhof Verlag
Druck und Bindung: Gutenberg Beuys Feindruckerei GmbH, Langenhagen

Printed in EU
ISBN 978-3-7319-0900-2

Inhalt

Vorwort 7
Thomas Drachenberg, Stefan Simon

Raumklima in Schlössern und Sammlungen 8
Wulf Eckermann

Klimatechnik für präventive Konservierung – Fluch oder Segen? 19
Lutz Baumann

Individuell statt pauschal – Gedanken zur Klimabewertung in Baudenkmalen 27
Andreas Schulze

Zwischen Risiko, Energieeffizienz und Konservierung – ein Green New Deal für Kultureinrichtungen 32
Stefan Simon et al.

Bewertung von Leuchtmitteln hinsichtlich ihrer Eignung zur Verwendung im Museum –
ein Überblick der Ergebnisse aus dem Rathgen-Forschungslabor 42
Simon Kunz, Stefan Röhrs

Ergebnisse der Langzeitbetreuung am Cranach-Altar auf Schloss Augustusburg
zum Thema der präventiven Konservierung 50
Thomas Löther, Manfried Eisbein

Staub auf Gemälderahmen im Schloss Sanssouci 61
Daniel Fitzenreiter

Wie gut werden Denkmale gepflegt – Realität und Perspektiven 65
Ellen Egel

Alte und neue Schädlinge in preußischen Schlössern, Gärten und Museen 75
Undine Köhler, Bill Landsberger

Wirkt eine Taube korrosiv? – Das DBU-Projekt „Fokus Taube“ 83
Martin Mach

Sammlungserhalt: Notfallplanung am Museum für Naturkunde 92
Peter Giere et al.

Kunstgutschutz bei Baumaßnahmen 100
Undine Köhler, Sandra Schorbach

Bauarbeiten bei Museumsbetrieb – Geht das? Schutzmaßnahmen gegen Erschütterungen –
Erfahrungen aus 10 Jahren Baubetrieb am Pergamonmuseum 111
Stefan Becker, Christiane Pfitzner

Autorenverzeichnis 120

Vorwort

Wenn am Dach eines Hauses ein Ziegel fehlt, dann muss er sehr schnell ersetzt werden, damit die dauerhafte Erhaltung des Hauses weiter gewährleistet werden kann. Wartung und Pflege ist für den Hausbesitzer selbstverständlich. Das gilt auch für Kulturgüter, ob in Museen oder im Bereich der Denkmalpflege. Hier ist die Situation jedoch wesentlich komplizierter. Sowohl bewegliche wie auch unbewegliche Kulturgüter sind häufig Umgebungsbedingungen und Risikofaktoren ausgesetzt, die den Zustand der zu schützenden Objekte nachteilig verändern können. Dieser sollte aber möglichst konstant bleiben.
Ein wesentlicher Grundsatz der präventiven Konservierung ist, dass nicht am Objekt selbst interveniert wird, sondern gezielte Veränderungen in seiner Umgebung erfolgen, dass das Objekt in Gänze erhalten bleibt und dabei die Schadensprozesse verlangsamt werden bzw. sogar zum Stillstand kommen.
Das Klima, die Staubentwicklung und mechanische Erschütterungen, zum Beispiel bei Baumaßnahmen, sind wichtige Faktoren, die beobachtet und reguliert werden müssen. Unkontrollierter Lichteinfall kann ungewollt zu Schädigungen und Veränderungen am Denkmal führen.
Zu den Schutzmaßnahmen gehört auch, beim Verpacken des Schutzgutes für den Transport Materialien zu verwenden, die keine Schadstoffe ausdünsten. Das gilt auch für Baumaterialien und Restaurierungsmittel.
Aber auch ein Managementsystem zur frühzeitigen Erkennung von Schädlingen kann eine sinnvolle Maßnahme sein. Am effektivsten ist es, sich von einer ausgewiesenen Fachfrau bzw. einem ausgewiesenen Fachmann ein Sicherheitskonzept erstellen zu lassen. Dazu zählt dann auch der Schutz vor Vandalismus und die Vogelabwehr. Ein Notfallplan und der Blitzschutz gehören fast schon selbstverständlich zum vorbeugenden Brandschutz dazu. Die Werkzeuge des Risikomanagements zeigen immer wieder, dass Investitionen in den Brandschutz zu den wirksamsten und kosteneffizientesten Maßnahmen in der präventiven Konservierung zählen.
Eines wird dabei deutlich: Die präventive Konservierung ist kein ritualisiertes Protokoll oder Regelwerk, sondern eher ein Prozess, der mit der Identifizierung und Evaluierung von Risikofaktoren beginnt, eine breite Basis an Nutzerinteressen berücksichtigt, und stets langfristig und pragmatisch auf die Minimierung von Wertverlusten am Kulturgut ausgerichtet ist.
Wir wollen mit diesem 13. Konservierungswissenschaftlichen Kolloquium neue Entwicklungen in der präventiven Konservierung aufzeigen und aktuelle Projekte aus dem musealen und auch denkmalpflegerischen Bereich vorstellen. Wir wollen dabei auf der Tagung den wissenschaftlichen Diskurs fördern. Der Austausch von Ideen und Konzepten ist ein ganz wesentliches Merkmal dieser Kolloquiumsreihe.
Wir danken allen Referentinnen und Referenten, Autorinnen und Autoren für ihre Beiträge. Unsere Kolleginnen Ellen Egel und Mechthild Noll-Minor vom brandenburgischen Landesdenkmalamt haben in enger Zusammenarbeit mit dem sehr professionell arbeitenden Verlag mit hoher Qualität dafür gesorgt, dass dieses Arbeitsheft wieder direkt zur Tagung als Tagungsband zur Verfügung steht.
Die Reihe der sehr erfolgreichen konservierungswissenschaftlichen Kolloquien ist nur im Verbund des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums mit der Fachhochschule Potsdam, der Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg und dem Rathgen-Forschungslabor der Staatlichen Museen zu Berlin – Stiftung Preußischer Kulturbesitz denkbar. In diesem Jahr haben die Staatlichen Museen zu Berlin mit der vor wenigen Wochen eröffneten James-Simon-Galerie den jährlich wechselnden Tagungsort zur Verfügung gestellt. Dafür sei allen Beteiligten sehr herzlich gedankt.

Wir wünschen diesem und zukünftigen Kolloquien und dem aktuell vorliegenden Arbeitsheft eine große Verbreitung.

Prof. Dr. Thomas Drachenberg
Landeskonservator

Prof. Dr. Stefan Simon
Direktor des Rathgen-Forschungslabors

Bauarbeiten bei Museumsbetrieb – Geht das? Schutzmaßnahmen gegen Erschütterungen – Erfahrungen aus 10 Jahren Baubetrieb am Pergamonmuseum

Stefan Becker (s.becker@besb.de), Christiane Pfitzner (c.pfitzner@besb.de), beide BeSB GmbH Berlin
Schalltechnisches Büro

Das Pergamonmuseum in Berlin wird saniert (Abb. 1) – bei laufendem Museumsbetrieb und Verbleib der meisten „Großobjekte“ im Museum. Das erfordert besondere Schutzmaßnahmen, denn Bauarbeiten bringen unter anderem Staub, Lärm und Erschütterungen mit sich. Dennoch sind die Bauarbeiten notwendig, um das Museum an moderne Museumsstandards anzupassen.
Vorliegend soll der Umgang mit baubedingten Erschütterungen näher betrachtet und über die Erfahrungen aus mittlerweile mehr als 10 Jahren Baubetrieb am Pergamonmuseum berichtet werden.

1. Was sind Erschütterungen

Die DIN 4150-1 definiert Erschütterungen als „mechanische Schwingungen fester Körper mit potenziell schädigender oder belästigender Wirkung“.

Abb. 1: Impressionen aus dem Baubetrieb im Pergamonmuseum, Fotos: BeSB GmbH

Erschütterungen können in Form der Bewegungsgrößen Beschleunigung a, Schnelle (Schwinggeschwindigkeit) v oder Weg x erfasst werden. Die o. g. Bewegungsgrößen sind ineinander umrechenbar. Die Wahl der Messgröße und des entsprechenden Aufnehmers hängt in der Praxis von dem interessierenden Frequenzbereich ab. Für Erschütterungen, die auf Gebäude oder Menschen in Gebäuden einwirken, wird in der Regel (und gemäß der einschlägigen Normenreihe DIN 4150-1 bis 3) die Schnelle als Messgröße verwendet.

2. Bewertungsmaßstäbe

Um die Auswirkungen von Erschütterungen einschätzen zu können, existieren im Falle des Bauwesens verschiedene Normen.

Für die Bewertung von Erschütterungen, die auf Gebäude einwirken, wird in Deutschland die DIN 4150-3 angewendet. Darin werden abhängig von der Gebäudeart und der Art der Erschütterungsanregung Anhaltswerte für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Anhaltswerte wurden aus zahlreichen Messungen als Erfahrungswerte gewonnen. Die Gebrauchstauglichkeit eines Gebäudes wird vermindert, wenn z. B. Risse im Putz auftreten oder bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden.
Auch die Schweizer Norm SN 640312a gibt Richtwerte für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke an. Werden diese eingehalten, treten an Bauwerken in der Regel keine Schäden auf. Die Richtwerte werden hier frequenzabhängig angegeben. Es erfolgt ähnlich wie in der DIN 4150-3 eine Unterscheidung in Empfindlichkeitsklassen und Häufigkeit des Auftretens.
Die niedrigsten Anhalts- bzw. Richtwerte ergeben sich für besonders empfindliche, insbesondere historische und/oder denkmalgeschützte Gebäude. Besonders kritisch sind zudem sogenannte Dauererschütterungen, d. h. Erschütterungen, bei denen es zu Resonanzerscheinungen (starke Überhöhung der Schwingungen bei einer kritischen Frequenz) im betroffenen Bauteil kommen kann. In Tab. 1 sind die niedrigsten Anhalts- bzw. Richtwerte zur Bewertung von Erschütterungen an besonders empfindlichen Gebäuden zusammengefasst.
Zum Vergleich wurde die menschliche Fühlschwelle in der Tabelle aufgeführt. Diese gibt einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung der meisten Menschen. Erschütterungen können somit schon von Menschen wahrgenommen werden, deutlich bevor es für ein Bauwerk kritisch ist. Die Fühlbarkeit von Schwingungen ist also kein Maßstab für die Gefährdung eines Objekts.
Für Museen bzw. empfindliche Kunstobjekte gibt es keine normativen Vorgaben zu Erschütterungseinwirkungen. Zum Zeitpunkt des Beginns der Planungen zum Umbau des Pergamonmuseums lagen zudem keine belastbaren Erfahrungswerte vor. Es wurde daher eine Grundsatzuntersuchung durch das Büro Prof. Stühler durchgeführt. Leitgedanke war, dass Erschütterungen, die auch im normalen Museumsbetrieb auftreten können, als tolerabel anzusehen sind. Untersuchte Fälle waren das Gehen in Ausstellungsräumen auf unterschiedlich leicht zu Schwingungen anregbaren Decken, sowie das leichte Anklopfen an Vitrinen und Kunstobjekten. Als Ergebnis der Untersuchung wurde für die Bauarbeiten eine Schwingschnelle von **v=1,0 mm/s als Grenzwert** festgelegt. Dieser Wert entspricht dem maximalen durch Besucher ausgelösten Ereignis.
Obwohl die Untersuchung sehr umfangreich war, konnten nicht alle Arten von Objekten oder Situationen des Baugeschehens abschließend bewertet werden. So sind z. B. für Vitrinen gesonderte Schutzmaßnahmen notwendig. Auch für Stelen und ähnliche, lange, schlanke Objekte sind Sonderbetrachtungen notwendig.
Zusätzlich liegen auch Erfahrungsberichte aus anderen Museen vor. So gibt es z. B. Untersuchungen aus dem British Museum in London, bei welchen Schwingungsmessungen während Bautätigkeiten durchgeführt wurden. Bei letzteren wurden teilweise sehr große Baugeräte eingesetzt (u. a. 30-t-Bagger zum Zertrümmern eines Beton-Fundaments, Abbruchhammer an Dachbalken). Wie aus Tab.

	Maximalwert des Geschwindigkeitsvektors $v_{i,max}$ in mm/s			
	alle Frequenzen	< 30 Hz	30–60 Hz	< 60 Hz
DIN 4150-3	2,5	–	–	–
SN 640312a	–	1,5	2,0	3,0
menschliche Fühlschwelle	0,2	–	–	–

Tab. 1: Anhalts- bzw. Richtwerte für Dauererschütterungen, die auf empfindliche Gebäude einwirken

Nr.	Anregung	Messobjekt	Schnelle v [mm/s]	Bemerkung	Quelle
1	Bauarbeiten	Aufstellfläche Kunstobjekt	*7,8**	Abplatzen von Farbe und kleinen Partikeln	(Thickett, 2002)
2	Bauarbeiten	Wandgemälde	*9,4**	Öffnen von Rissen	(Thickett, 2002)
3	Bauarbeiten	Tafel aus Terrakotta	*3,1**	Abschürfung gegenüber Aufstellpunkten	(Thickett, 2002)
4	Bauarbeiten	Verschiedene Kunstobjekte	1,0	GW PMU	–
5	Transport	innerhalb Transportkiste	*21,9**	Transport innerhalb Museum (spezielle Transportkiste)	(Begov et al., 2007)
6	normaler Museumsbetrieb	Aufstellfläche Kunstobjekt	0,7	–	(Stühler, 2002)
7	normaler Museumsbetrieb	Boden	1,0	–	(Stühler, 2002)
8	normaler Museumsbetrieb	Boden	*0,1**	minimal	(Thickett, 2002)
9	normaler Museumsbetrieb	Boden	*2,3**	maximal	(Thickett, 2002)

Tab. 2: Beispielhafte Schwingschnellewerte

* Umgerechnet von Beschleunigung in Schnelle

2 zu entnehmen ist, sind dabei an den Objekten selbst bzw. an deren Aufstell- oder Aufhängepunkten große Erschütterungen (gegenüber dem normalen Museumsbetrieb) aufgetreten, die teilweise auch zu Schäden an den Kunstobjekten geführt haben. Die Schäden traten jedoch erst bei Erschütterungen deutlich oberhalb einer Schnelle von 1 mm/s auf. Die Erfahrungen aus dem British Museum stützen damit auch den für das Pergamonmuseum angesetzten Grenzwert von 1 mm/s, bei dessen Einhaltung bislang keine erschütterungsbedingten Schäden aufgetreten sind. Tab. 2 zeigt eine Zusammenstellung einiger Messwerte.
Zusätzlich sei darauf hingewiesen, dass auch beim Transport von Kunstobjekten Erschütterungen auftreten. Diese können z. B. beim Überfahren von Schwellen oder Kanten hohe Werte aufweisen (siehe Tab. 2, Nr. 5).

3. Maßnahmenkonzept

Um den festgelegten Grenzwert einhalten zu können und damit Schäden an Kunstobjekten zu vermeiden, ist im Vorfeld der Bauarbeiten am Pergamonmuseum ein umfangreiches Maßnahmenkonzept entwickelt und umgesetzt worden.

Dieses Maßnahmenkonzept enthält zum einen dauerhaft installierte Messpunkte, die eine zweistufige Alarmierung enthalten und zum anderen temporäre Messungen zu Beginn von erschütterungskritischen Arbeiten. Das prinzipielle Vorgehen bei neuen Arbeiten bzw. Arbeitsbereichen lässt sich wie folgt darstellen:

1. Temporäre Messung an Kunstobjekten und Referenzmesspunkt am Boden;
2. Installation eines Dauermesspunkts;
3. 24-h-Überwachung der Bauarbeiten mit zweistufiger Alarmierung (Voralarmwert und Grenzwert).

Die temporäre Messung begleitet erstmals stattfindende, potenziell erschütterungskritische Bauarbeiten wie z. B. Abbruch- bzw. Stemmarbeiten. Es können während der Messung auch verschiedene Bauverfahren oder Baugeräte verglichen werden, um das erschütterungsärmste Verfahren/Gerät zu ermitteln. Im Vorfeld werden in Zusammenarbeit mit den Restauratoren die kritischsten Kunstobjekte ermittelt und bei der Messung berücksichtigt. (Abb. 2 zeigt beispielhaft Messpunkte auf einem Kunstobjekt bei Abbrucharbeiten mit einem Minibagger). Zusätzlich wird an einer geeigneten Stelle am Boden ein Referenzmesspunkt gesetzt, der für die Dauerüberwachung genutzt werden soll.

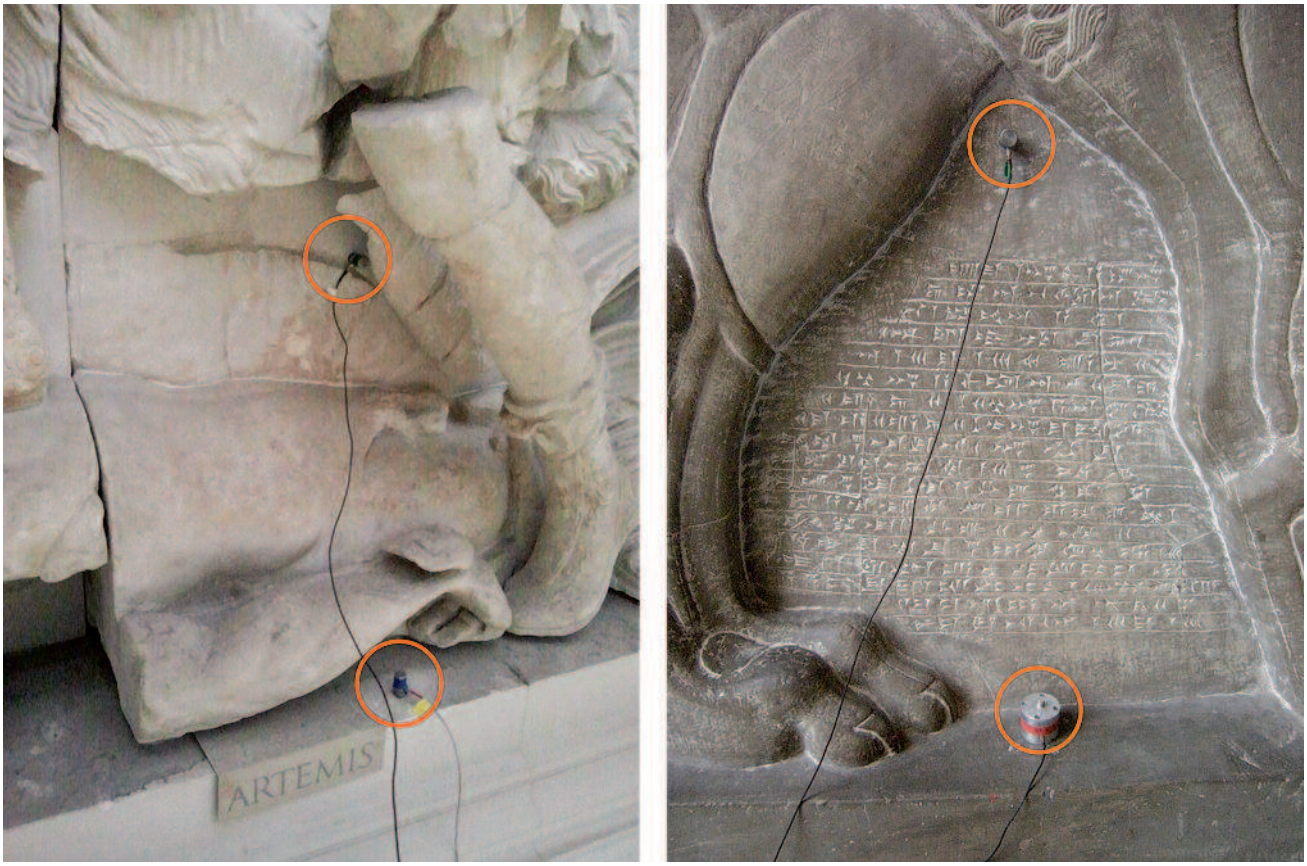

Abb. 2: Temporäre Messpunkte auf dem Pergamonfries und den Torhüterfiguren, Fotos: BeSB GmbH

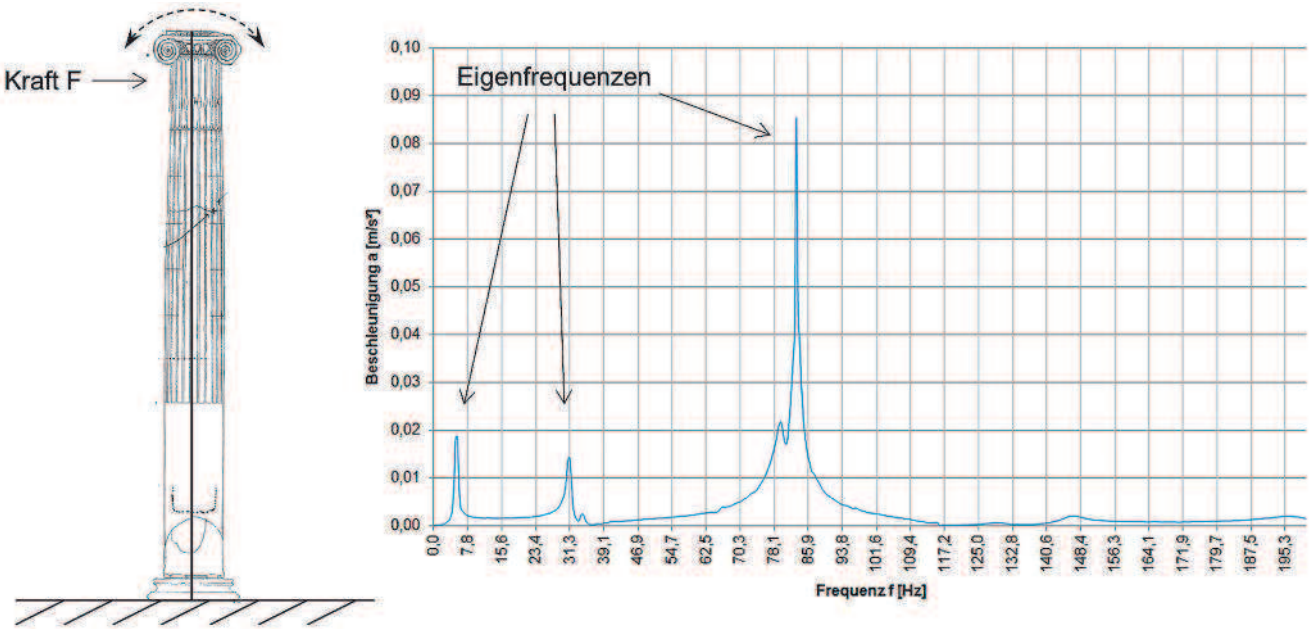

Abb. 3: Schwingverhalten einer antiken Säule, Graphik: BeSB GmbH

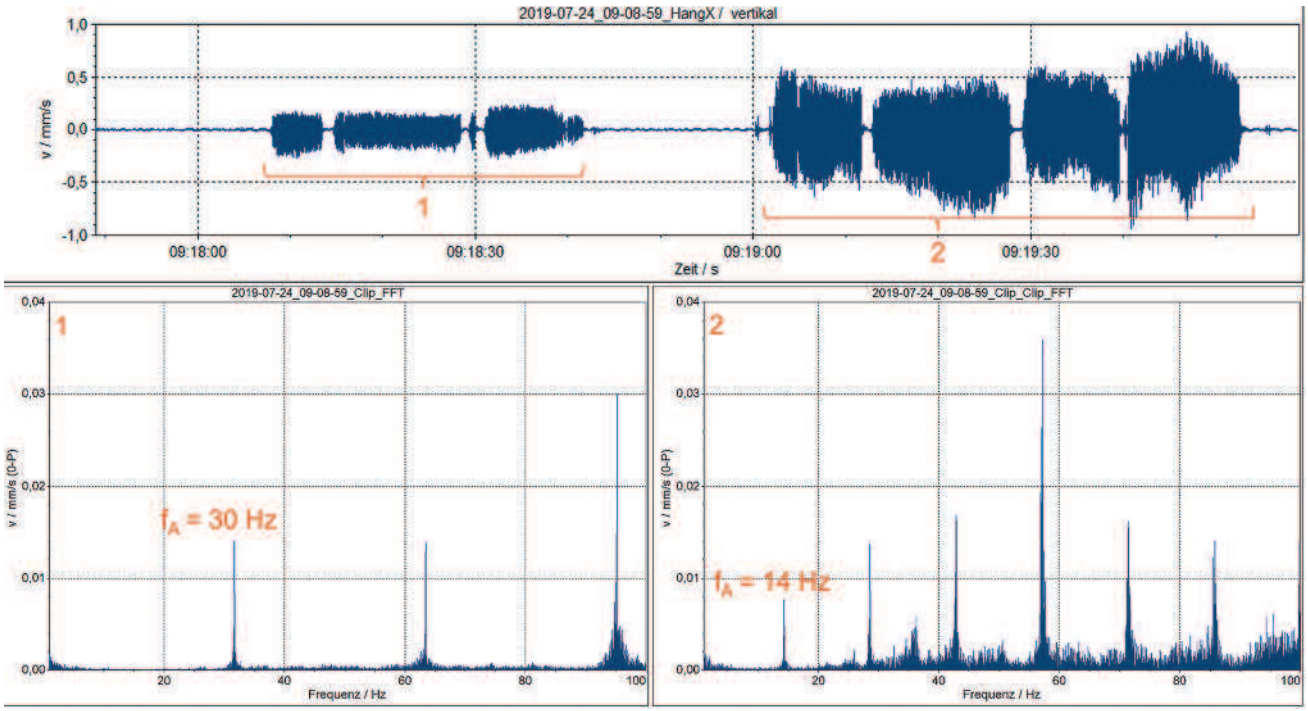

Abb. 4: Vergleich zweier Stemmgeräte an einem Messpunkt (1: 11-kg-Stemmhammer, 2: 32-kg-Stemmhammer); oben: Zeitverlauf; unten: Spektrum Geräte 1 und 2, Graphiken: BeSB GmbH

In der temporären Messung wird ermittelt, ob die Messwerte am Boden größer oder gleich denen am Objekt sind. Dann kann dieser Referenzpunkt als Dauermesspunkt verwendet werden. Die Ankopplung am Boden erfolgt dabei mit Hilfe einer schweren Metallplatte, die durch ihr Gewicht eine kraftschlüssige Verbindung zum Bauteil herstellt. Am Objekt selbst, werden die leichten Aufnehmer in der Regel mit Bienenwachs befestigt, welches nur für kurzzeitige Befestigungen geeignet ist.

Weiterhin wird das Schwingungsverhalten der Kunstobjekte und des Bauwerks ermittelt. Dabei sind insbesondere die Eigenfrequenzen interessant, da sie Auskunft darüber geben, bei welchen Anregefrequenzen der Baugeräte eine Resonanz und damit Verstärkung der Schwingungen auftreten kann. Exemplarisch ist das Ergebnis einer Untersuchung an einer antiken Säule in Abb. 3 dargestellt. Diese wurde mit Hilfe eines Impulshammers zu einer freien Schwingung angeregt, wobei das System in den charakteristischen Eigenfrequenzen schwingt.

Es kann dann entweder das Baugerät oder das Verfahren angepasst werden, oder wenn dies nicht möglich ist, können Maßnahmen am Objekt ergriffen werden (z. B. Schwingungsentkopplung, Beräumen des Objekts etc.).

Exemplarisch ist in Abb. 4 ein Erschütterungs-Zeitverlauf während einer temporären Messung dargestellt. Dabei wurde der Einsatz eines 11-kg-Stemmhammers und eines 32-kg-Stemmhammers verglichen und bewertet. Zusätzlich ist das Frequenzspektrum mit Markierung der Anregefrequenz des Arbeitsgeräts dargestellt. Darin erkennt man zudem die höheren Harmonischen der Anregefrequenz, die ebenfalls zu Resonanzeffekten führen können.

Konnte während der temporären Messung das Bauverfahren festgelegt und der Dauermesspunkt bestätigt werden, wird dieser fest installiert (Beispiel siehe Abb. 5) und mit einer Funkverbindung ausgestattet.

Für die Überwachung der Bauarbeiten werden über einen Zeitraum von 24 Stunden die Erschütterungswerte im 1-s-Takt aufgezeichnet. Zusätzlich wird eine Schwelle für den Voralarm und den Grenzwert eingerichtet. Der Voralarm liegt unterhalb des Grenzwerts, um bereits im Vorfeld über erschütterungsintensive Verfahren zu informieren und die Beteiligten zu sensibilisieren. So kann i. d. R. ein Erreichen oder Überschreiten des Grenzwerts vermieden werden.

Für die praktische Umsetzung ist dabei außerdem wichtig, die ausführenden Baufirmen für das Arbeiten in empfindlichen Bereichen zu sensibilisieren.

Wird ein Voralarmwert überschritten, erhalten üblicherweise die Bauleitung und die Ansprechpartner aus dem betroffenen Museum eine E-Mail, in welcher der betroffene Messpunkt sowie Zeitpunkt und Auslösewert mitgeteilt werden. In unserem Büro werden die Messwerte dann hinsichtlich Häufigkeit, Art der Erschütterung (kurzzeitige Erschütterung oder Dauererschütterungen) und Frequenzzusammensetzung analysiert. Zusammen mit der Bauleitung wird

Abb. 5: Dauermesspunkt auf dem Sockel des Großen Frieses, Foto: BeSB GmbH

das verursachende Bauverfahren oder Baugerät ermittelt und abgeschätzt, welche Arbeiten noch anstehen und ob die Erschütterungen noch ansteigen könnten. Weiterhin werden die Messwerte im weiteren Verlauf stärker beobachtet.
Bei Überschreitung des Grenzwerts wird zusätzlich zu der Alarmierung per E-Mail und SMS ein Vor-Ort-Alarmgeber ausgelöst, der ein optisches und akustisches Signal auf der Baustelle aussendet. Dies löst dann einen sofortigen Baustopp aus. Wie beim Voralarmwert werden die Messdaten dann zunächst analysiert. Mit Hilfe der Bauleitung wird der Verursacher gefunden und mit den Mitarbeitern des Museums überprüft, welche Objekte betroffen sind. Anschließend werden mit allen Beteiligten Lösungsstrategien ermittelt, die ein Fortführen der Bauarbeiten ermöglichen. Lösungsstrategien wären z. B. das Anpassen des Baugeräts oder das Ändern der Bautechnologie, das Verringern der Intensität der Arbeiten oder auch das Beräumen von empfindlichen Objekten. Die Anpassung der Bauverfahren kann entweder mit einer weiteren temporären Messung oder durch parallele Beobachtung der Messdaten aus den Dauermessanlagen begleitet werden. Wurde eine Lösung erarbeitet, können die Arbeiten anschließend fortgesetzt werden.
Beispielhaft ist nachfolgend in Abb. 6 ein Erschütterungszeitverlauf für einen Messtag dargestellt.

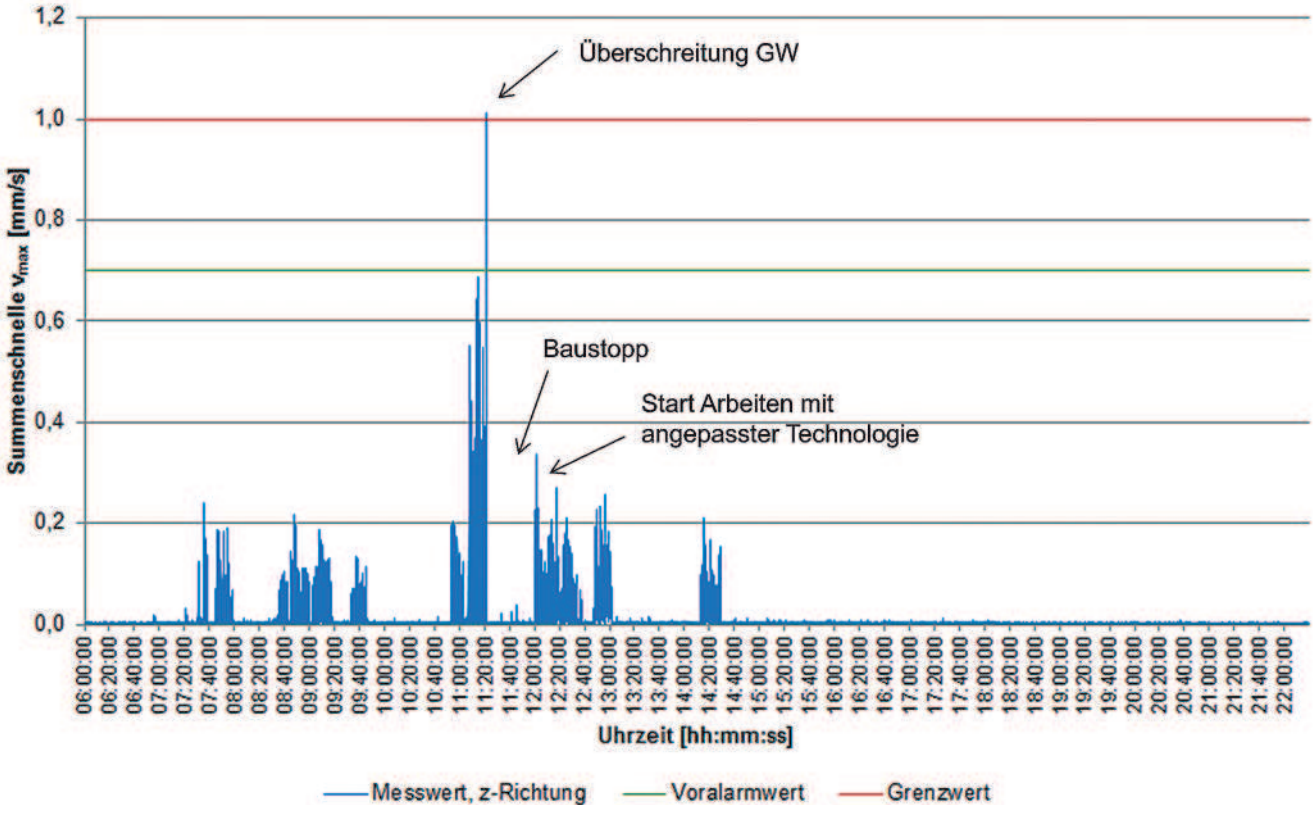

Abb. 6: Erschütterungszeitverlauf über einen Messtag (6–22 Uhr)

4. Elastische Lagerung zur Minderung der Erschütterungen

Ist eine Anpassung der Bautechnologie nicht möglich, kann vielfach auf eine elastische Lagerung zurückgegriffen werden. Damit können insbesondere auf dem Boden stehende Objekte gegenüber Erschütterungen geschützt werden. In der Praxis bedeutet das, dass ein zu schützendes Objekt auf ein Isolierelement (z. B. Federn, Maschinenfüße, Elastomerschicht) aufgestellt wird. Ein Beispiel für eine elastische Lagerung ist in Abb. 9 dargestellt.

Das Prinzip der elastischen Lagerung beruht auf dem Modell eines Einmassenschwingers (dargestellt als Prinzipskizze in Abb. 7). Darin wird eine träge Masse zu Schwingungen angeregt, die durch eine Feder an ein starres Fundament gekoppelt ist. Die innere Dämpfung der Feder wird durch einen viskosen Reibdämpfer dargestellt.

Das System aus Feder und Masse besitzt eine Eigenfrequenz f_{res}, die wiederum Einfluss auf das Isolierverhalten hat. So ist die Isolierwirkung (meist angegeben als Einfügungsdämmmaß *R*) bei dieser Eigenfrequenz negativ, die Schwingungen werden also verstärkt. Nur oberhalb dieser Eigenfrequenz kann eine Isolierwirkung erreicht werden. Diese ist zudem abhängig vom Dämpfungsverhalten des Isolierelements (ausgedrückt durch den Verlustfaktor η). Zur besseren Anschaulichkeit ist dieser Sachverhalt in Abb. 8 dargestellt.

Der Frequenzgang des Einfügungsdämmmaßes unterscheidet sich erheblich für jedes System aus Masse und Feder. Eine sorgsame Prüfung des Sachverhalts und die Wahl des richtigen Isolierelements sind daher unabdingbar.

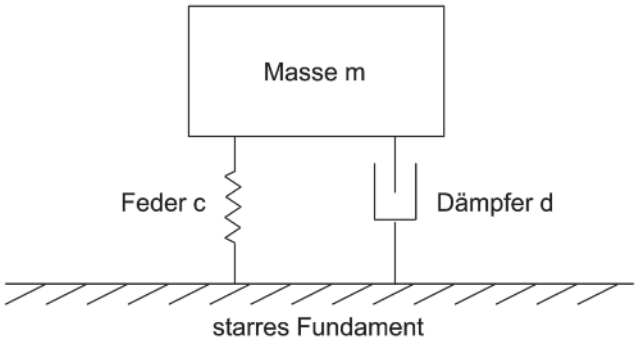

Abb. 7: Prinzipskizze eines Einmassenschwingers

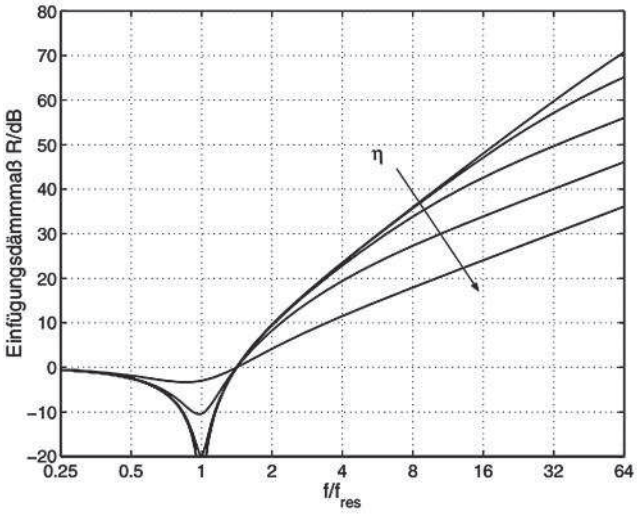

Abb. 8: Theoretisches Einfügungsdämmmaß bei starrem Fundament für verschiedene Verlustfaktoren (Möser, 2009)

Abb. 9: Beispiel einer elastischen Lagerung im Bode-Museum, Foto: BeSB GmbH

Doch nicht nur auf dem Boden stehende Objekte können gegenüber Erschütterungen geschützt werden. Im speziellen Fall der Wandvitrinen im Vorderasiatischen Museum konnte mit einer Kombination aus elastischer Lagerung und Versteifung der Auflager eine deutliche Verbesserung des Schwingverhaltens herbeigeführt werden.

Die betroffenen Vitrinen sind fest in der Wand verankert, über welche die Erschütterungen aus dem Baubetrieb eingeleitet werden. Die kleinen und verhältnismäßig leichten Kunstobjekte stehen auf Glasplatten, die wiederum locker auf Metallwinkeln aufgelegt sind (siehe Abb. 10). Bei Erschütterungen, insbesondere Dauererschütterungen, kam es dann zu Verschiebungen der Kunstobjekte; sie fingen an zu „wandern". Daraufhin wurden die Vitrinen kurzfristig beräumt.

Um die Vitrinen im Pergamonmuseum schwingungstechnisch zu ertüchtigen, wurden umfangreiche Untersuchun-

Abb. 10: Leere Vitrine im Originalzustand, Foto: BeSB GmbH

gen durchgeführt und verschiedenste Materialien und Varianten getestet. Zusätzlich musste beachtet werden, dass ausschließlich Materialien verwendet werden, die keinerlei schädliche Ausdünstungen o. ä. verursachen. Elastische Lagerungen lassen sich z. B durch spezielle PUR-Schäume realisieren. Von diesen haben aber bislang nur wenige den üblicherweise zum Test auf schädliche Ausdünstungen verwendeten Oddy-Test bestanden.

Die schließlich realisierte Lösung besteht aus der Verbreiterung der Auflagerfläche, einer Versteifung gegenüber seitlichen Bewegungen mit Hilfe von Winkeln und einer elastischen Schicht unterhalb jeden Lagers. Abb. 11 zeigt eine Prinzipskizze sowie Fotos im Einbauzustand.
Die Wirksamkeit dieser Methode wurde messtechnisch nachgewiesen. Dazu wurde parallel auf einem ertüchtigten und einem originalen Vitrinenboden während Probestemmarbeiten gemessen. Die Ergebnisse im Zeitverlauf sind in Abb. 12 dargestellt. Insgesamt wurde durch die Nachrüstung der Vitrinen mit einer elastischen Lagerung eine Reduktion der Erschütterungen auf bis zu 1/10 der Erschütterungen ohne elastische Lagerung erreicht.

5. Fazit

Baubedingte Erschütterungen sind insbesondere für Museen, Archive und deren empfindliche Kunstobjekte eine erhebliche Belastung. Werden z. B. die falschen Baugeräte eingesetzt, oder erfolgen mehrere erschütterungsintensive Bauvorgänge gleichzeitig, können Schäden an den Kunstobjekten nicht ausgeschlossen werden. Um dies zu verhindern, ist eine Betrachtung der Erschütterungsthematik im Vorfeld der Arbeiten empfehlenswert. Daraus kann dann

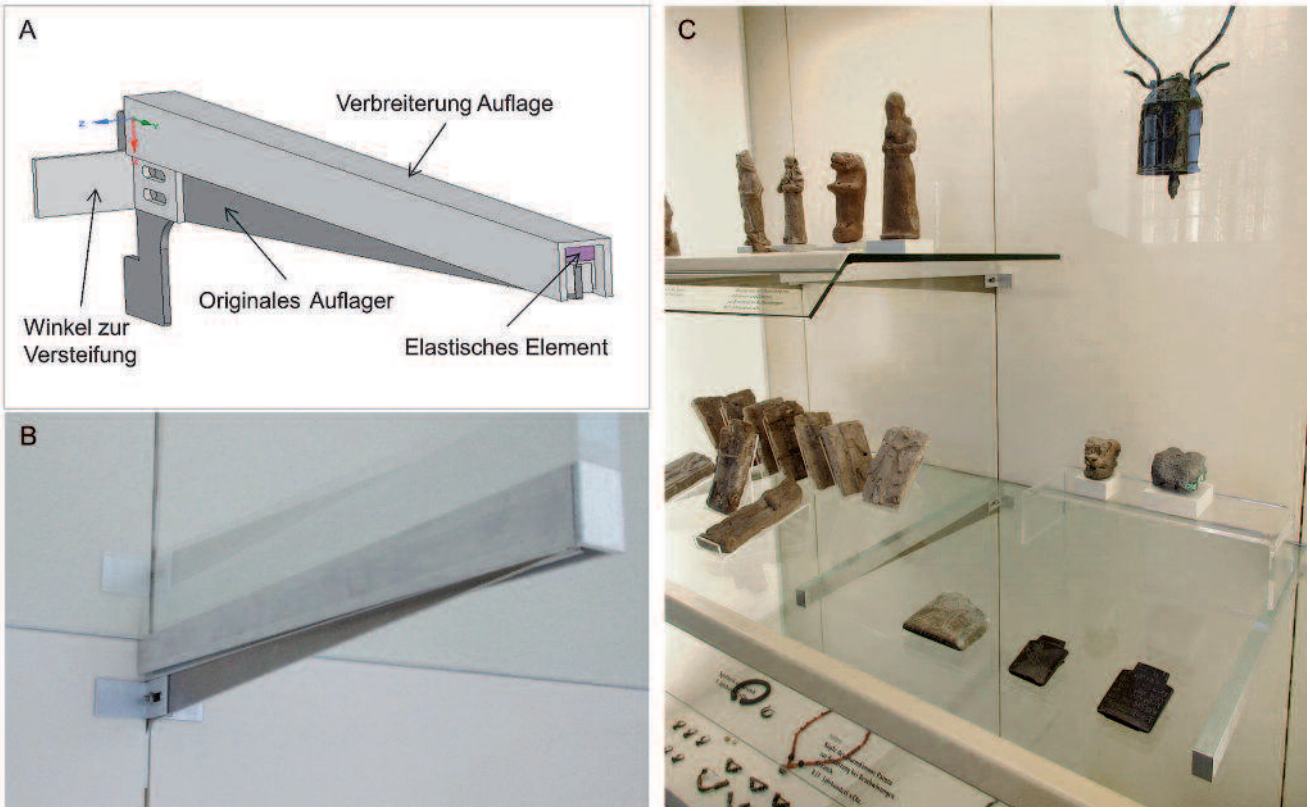

Abb. 11: Vitrinenlagerung (A: Prinzipskizze des Aufbaus; B: Testeinbau; C: Eingerichtete Vitrine mit ertüchtigten Lagern), Fotos: BeSB GmbH

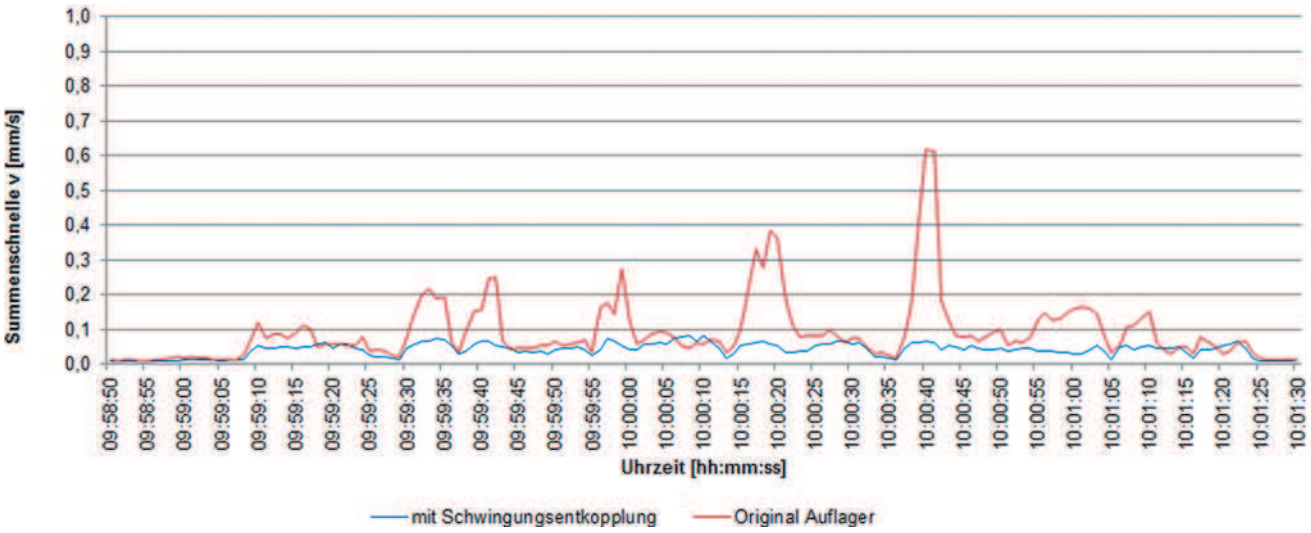

Abb. 12: Vergleich Zeitverlauf der Erschütterungen während Probestemmarbeiten, Graphik: BeSB GmbH

ein mehr oder weniger umfangreicher Maßnahmenplan abgeleitet werden. Das im Pergamonmuseum umgesetzte Konzept aus zweistufiger Dauerüberwachung, temporären Messungen zu Beginn verschiedener Arbeiten und Schwingungsisolation hat sich im bisherigen Bauverlauf als erfolgreich bewiesen. Es sind keine Schäden an den Kunstobjekten aufgetreten. Bauarbeiten bei laufendem Museumsbetrieb durchzuführen, ist also möglich.

Literatur und Quellen

Begov, E. und Kuschel, L. (2007): Kunst auf Reisen – Schock- und Vibrationsmessungen bei Kunsttransporten. *Restauro*, 4, S. 258–265.

DIN 4150-1 (2001): Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen.

DIN 4150-3 (2016): Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen.

Möser, M. (2009): *Technische Akustik*. Berlin/Heidelberg: Springer.

SN 640 312a (1992): Erschütterungen – Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke.

Stühler, W. (2002): Bericht S3209 NM/M1-2.

Stühler, W. (2002): Bericht S3209 GP/1-8.

Thickett, D. (2002): Vibration damage levels for museum objects. In: *Preprints of the 13th ICOM-CC Triennial Meeting in Rio de Janeiro* (22.–27. September 2002), Bd. I, S. 90–95. London: James & James.

Autorenverzeichnis

M. Sc. Andreas Abele
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
andreas.abele@mfn.berlin

M. A. Edda Aßel
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
edda.assel@mfn.berlin

Dipl.-Ing. Lutz Baumann VDI
Ing.-Büro Niehsen-Baumann
Wiesenufer 7
09123 Chemnitz
Weiteres Büro:
Ehrenpreisweg 11a, 12357 Berlin
info@niehsen-baumann.de

Dipl.-Ing. Stefan Becker
BeSB GmbH Berlin Schalltechnisches Büro
Undinestraße 43
12203 Berlin
s.becker@besb.de

Prof. Dr. Thomas Drachenberg
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum
Wünsdorfer Platz 4–5
15806 Zossen (Ortsteil Wünsdorf)
thomas.drachenberg@bldam-brandenburg.de

Dipl.-Ing. Wulf Eckermann
Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
Abteilung Restaurierung
Fachbereich Präventive Konservierung
Postfach 60 14 62
14414 Potsdam
w.eckermann@spsg.de

Dipl.-Chem. Ellen Egel
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum
Abteilung Bau- und Kunstdenkmalpflege
Dezernat Praktische Denkmalpflege
Referat Restaurierung/Bauforschung
Wünsdorfer Platz 4–5
15806 Zossen (Ortsteil Wünsdorf)
ellen.egel@bldam-brandenburg.de

Peer Eichner
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
peer.eichner@mfn.berlin

Dipl.-Rest. Manfried Eisbein
Landesamt für Denkmalpflege Sachsen
Schloßplatz 1
01067 Dresden
manfried.eisbein@lfd.smi.sachsen.de

Dipl.-Rest. Daniel Fitzenreiter
Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
Abteilung Restaurierung
Fachbereich Gemälde/Rahmen
Postfach 60 14 62
14414 Potsdam
d.fitzenreiter@spsg.de

Dipl.-Biol. Anja Friederichs
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
anja.friederichs@mfn.berlin

Dr. Peter Giere
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung
Invalidenstr. 43
10115 Berlin
peter.giere@mfn.berlin

FA Cornelia Hiller
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
cornelia.hiller@mfn.berlin

M. Sc. Lukas Kirschey
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
lukas.kirschey@mfn.berlin

Dipl.-Rest. Undine Köhler
Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
Abteilung Restaurierung
Fachbereich Präventive Konservierung
Postfach 60 14 62
14414 Potsdam
u.koehler@spsg.de

Dipl.-Rest. Simon Kunz
Deutsches Bergbau-Museum Bochum
Materialkunde
Hernerstr. 45
44787 Bochum
simon.kunz@bergbaumuseum.de

Dipl.-Biol. Bill Landsberger
Rathgen-Forschungslabor
Staatliche Museen zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz
Schloßstr. 1A
14059 Berlin
b.landsberger@smb.spk-berlin.de

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Löther
Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e. V.
Schloßplatz 1
01067 Dresden
loether@idk-denkmal.de

Dipl.-Chem. Martin Mach
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
Hofgraben 4
80539 München
martin.mach@blfd.bayern.de

Sandra Miehlbradt M.A.
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
sandra.miehlbradt@mfn.berlin

Dr. Christian Neumann
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
christian.neumann@mfn.berlin

M. Sc. Christiane Pfitzner
BeSB GmbH Berlin Schalltechnisches Büro
Undinestraße 43
12203 Berlin
c.pfitzner@besb.de

Dipl.-Verwaltungswirt (FH) Christoph Plappert
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
christoph.plappert@mfn.berlin

Dr. Stefan Röhrs
Rathgen-Forschungslabor
Staatliche Museen zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz
Schloßstr. 1a
14059 Berlin
s.roehrs@smb.spk-berlin.de

Dr. Ralf Thomas Schmidt
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
ralf-thomas.schmitt@mfn.berlin

Dipl.-Rest./M. Sc. Sandra Schorbach
Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
Abteilung Restaurierung
Fachbereich Architekturfassung/Wandbild
Postfach 60 14 62
14414 Potsdam
s.schorbach@spsg.de

Dr. Stephan Schultka
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
stephan.schultka@mfn.berlin

Norbert Schulz
Museum für Naturkunde,
Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung,
Invalidenstr. 34
10115 Berlin
norbert.schulz@mfn.berlin

Prof. Dr. Andreas Schulze
Hochschule für Bildende Künste Dresden
Fachklasse für Kunsttechnologie, Konservierung und Restaurierung von Bildwerken und Raumausstattungen
Güntzstr. 34, 01307 Dresden
aschulze@hfbk-dresden.de

Prof. Dr. Stefan Simon
Rathgen-Forschungslabor
Staatliche Museen zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz
Schloßstr. 1a
14059 Berlin
s.simon@smb.spk-berlin.de

MICHAEL IMHOF VERLAG
ISBN 978-3-7319-0900-2