

TRANSPORTMONITORING BEI GEMÄLDETRANSPORTEN –  
NEUE DATENSAMMLUNG ZUR CHARAKTERISIERUNG DER  
SCHOCK- UND VIBRATIONSIMMISSIONEN

## EINLEITUNG

Weltweit nimmt die Anzahl der Kunsttransporte kontinuierlich zu. Die betroffenen Gemälde sind dabei großen Belastungen und Risiken ausgesetzt, wie z.B. Erschütterungen und Vibrationen. Das Handling der Gemälde innerhalb der Museen, das Laden und Umladen der Transportkisten, die Lkw-Fahrten über holprige Straßen oder der Frachtumschlag an Flughäfen sind typische risikobehaftete Situationen, in denen es zu Schäden an den Gemälden kommen kann. Seit den 1980er Jahren haben Fachleute vermehrt ihre Aufmerksamkeit der Erforschung der Schock- und Vibrationsimmissionen während der Kunsttransporte gewidmet und erste fundierte Studien auf Basis der gesammelten Messdaten publiziert.<sup>1-13</sup> Diese Daten erlaubten erstmals Aussagen über die zu erwartende Intensität (Maxima der Beschleunigung) von Schockereignissen. Neuere Studien thematisierten den sogenannten kumulativen Effekt, also die mögliche Gefahr von Schäden durch geringere, aber kontinuierlich einwirkende Belastungen.<sup>6, 10, 14-16</sup>

An dieser Stelle setzt das 2010 initiierte KTI-Forschungsprojekt *Risikoabschätzung für Schock- und Vibrationsimmissionen mit neuen Präventionsstrategien beim Transport fragiler Gemälde* ([www.gemaeldettransport.ch](http://www.gemaeldettransport.ch)) an.<sup>17</sup> Das Projekt hat zum Ziel, die Klassifizierung der transportbedingten Schock- und Vibrationsimmissionen, die Risikoeinschätzung und Ermittlung von Toleranzwerten sowie die Entwicklung von Präventionsstrategien unter besonderer Berücksichtigung der kontinuierlichen Vibrationseinwirkung neu zu formulieren. Die mit einem neu entwickelten Simulationsgerät im Labor durchgeführten Messreihen und die ergänzend vorgenommenen Messungen während realen Gemäldetransporten dienen als Grundlage für die Bewertung aktueller und die Entwicklung neuer Verpackungsmethoden.

Das interdisziplinäre Forschungsteam setzt sich zusammen aus Fachleuten des Fachbereichs Konservierung und Restaurierung KuR an der Berner Fachhochschule BFH / Hochschule der Künste Bern HKB und des Instituts für mechatronische Systeme ifms an der BFH-TI in Burgdorf. Unterstützt wird das Projekt von vier Wirtschaftspartnern: Einer Schweizerischen Versicherungsgesellschaft sowie den drei wichtigsten Schweizer Kunstspeditionen. Fachleute aus verschiedenen Schweizer Museen begleiten das Projekt als Praxispartner.

Ein Schwerpunkt des Forschungsprojekts ist die Erhebung und Klassifizierung der während der Gemäldetransporte auftretenden Schock- und Vibrationsimmissionen. Anhand einer umfangreichen Sammlung von während realer Transportsituationen aufgezeichneten Messdaten lassen sich die bisher publizierten Ergebnisse ergänzen und punktuell korrigieren. Die verwendete Messmethodik und die nun vorliegenden Zwischenergebnisse – die Datensammlung wird kontinuierlich weitergeführt – sind Thema dieses Beitrags.

Einen weiteren Schwerpunkt des Projekts stellt das komplexe Thema der Risikoeinschätzung dar, mit dem Ziel, die Frage der Schwellenwerte neu

- 1 Stühler, W., Schwingungseinwirkungen auf Ausstellungsobjekte beim Transport und bei der Ausstellung – Ursachen, Auswirkungen, Abhilfemassnahmen in *ICOM – Internationales Symposium „Bewahren und Ausstellen – Die Forderung des kulturellen Erbes in Museen“*, veranstaltet von den ICOM-Nationalkomitees der Bundesrepublik Deutschland, Österreichs und der Schweiz, 13-15 Mai 1982, Saur-Verlag, München (1984).
- 2 Stühler, W., Schwingungstechnische Untersuchungen an gängigen Kunst-Transportbehältern in *Mitteilungen / Deutscher Restauratorenverband*, Nr. 7 (1985), S. 106-112.
- 3 Stühler, W., Einwirkungen von Erschütterungen auf Kunstgegenstände beim Transport mit Kurierkoffern in *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Bd. 1, Nr. 1 (1987) S. 68-74.
- 4 Stühler, W., Möglichkeiten zur Reduzierung der Einwirkung von Erschütterungen beim Transport von Kunstgegenständen in *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, Bd. 4, Nr. 1 (1990) S. 107-111.
- 5 Caldicott, P. J., Vibration and shock in transit situations: A practical evaluation using random vibration techniques in M.F. Mecklenburg (ed.) *Art in transit: Studies in the transport of paintings: International Conference on the Packing and Transportation of Paintings, London, Sept. 9-11*, National Gallery of Art, Washington (1991) S. SE-1-SE-24.
- 6 Marcon, P. J., Shock, vibration and the shipping environment in M.F. Mecklenburg (ed.) *Art in transit: Studies in the transport of paintings: International Conference on the Packing and Transportation of Paintings, London, Sept. 9-11*, National Gallery of Art, Washington (1991a) S. 121-132.
- 7 Marcon, P. J., Shock, vibration and protective package design in M.F. Mecklenburg (ed.) *Art in transit: Studies in the transport of paintings: International Conference on the Packing and Transportation of Paintings, London, Sept. 9-11*, National Gallery of Art, Washington (1991b) S. 107-120.
- 8 Michalski, S., Paintings - Their response to temperature, relative humidity, shock and vibration. in M.F. Mecklenburg (ed.) *Art in transit: Studies in the transport of paintings: International Conference on the Packing and Transportation of Paintings, London, Sept. 9-11*, National Gallery of Art, Washington (1991) S. 223-248.
- 9 Saunders, D., Sitwell, C. L., and Staniforth, S., Soft pack - the soft option? in M.F. Mecklenburg (ed.) *Art in transit: Studies in the transport of paintings: International Conference on the Packing and Transportation of Paintings, London, Sept. 9-11*, National Gallery of Art, Washington (1991) S. 311-321.
- 10 Saunders, D., Monitoring shock and vibration during the transportation of paintings in *The National Gallery Technical Bulletin*, Bd. 19, Nr. 1 (1998) S. 64-73.

aufzugreifen. Die durchgeführten Versuchsreihen belegen, dass Langzeitbelastungen von beschichteten textilen Bildträgern (Vibrationen und sich wiederholende Schocks) ein höheres Schadensrisiko beinhalten als bisher angenommen. Diese Forschungsergebnisse sind aus der Sicht des Forschungsteams von höchster Relevanz und werfen nicht nur neue Fragen zur Einschätzung der Transportfähigkeit fragiler Gemälde auf, sondern auch zu den Anforderungen an die Präventionsmaßnahmen. Eine Publikation dazu ist in Vorbereitung. Die breit angelegten Messreihen im Labor mit der eigens entwickelten Simulationstechnik ermöglichen die Neubewertung der aktuell verbreiteten Präventionsstrategien, die vor allem auf Rückseiten- und Schwingschutzmaßnahmen basieren.<sup>18</sup> Aktuell konzentriert sich das Forschungsteam auf die Schwerpunkte Montage, Verpackung (Dämpfungsmaterialien) und Monitoring. Die bereits erarbeiteten Ergebnisse haben einen hohen Optimierungsbedarf bei den derzeitigen Verpackungsstrategien gezeigt. Innovationen sollen hier neue Perspektiven eröffnen.

## TRANSPORTMONITORING UND DATENSAMMLUNG

Um die während der Gemälde Transporte auftretenden mechanischen Belastungen beurteilen zu können, wird eine möglichst umfangreiche Sammlung von Messdaten benötigt. Dazu ist es erforderlich, Transportmonitorings durchzuführen, bei denen sowohl die auf das Gemälde als auch auf die Transportkiste einwirkenden Schocks und Vibrationen messtechnisch erfasst werden. Die Messdaten dienen zum einen der Charakterisierung der Schock- und Vibrationsimmissionen und zum anderen als Grundlage für die Ermittlung von Schadensursachen im allfälligen Versicherungsfall. Durch die Analyse des Übertragungsverhaltens der Immissionen von der Transportkiste zum Gemälde geben sie darüber hinaus aber auch Auskunft über die Wirksamkeit der verschiedenen Schwingenschutztechniken und Verpackungsarten sowie über die Unterschiede zwischen den verschiedenen Transportmodi. Daher werden – begleitend zu den Messreihen im Labor – fortlaufend Transportmonitorings zur Erweiterung der Datensammlung durchgeführt (Tabelle 1).

Sämtliche Monitorings finden im Rahmen von Transporten statt, die unabhängig vom Forschungsprojekt im Zusammenhang mit internationalen Ausstellungen durch die Praxispartner in den Museen organisiert werden. Im Vorfeld der Monitorings werden jeweils individuell auf die Gemälde zugeschnittene Verpackungskonzepte entwickelt. Die messtechnische Begleitung besonders heikler Gemälde dient auch als Argumentationshilfe bei der Entscheidungsfindung der Verantwortlichen in den Museen, ob ein Gemälde trotz Unsicherheit bezüglich etwaiger Risiken transportiert werden darf oder nicht. Während der Monitorings wird von dem transportbegleitenden Kurier ein detailliertes Protokoll mit Angaben zu Position und Ausrichtung der Sensoren, Verpackungsart und -material, Transportmodi, Route, Straßenverhältnissen, Besonderheiten beim Handling und der jeweiligen Uhrzeit geführt. So können die Messdaten später exakt den während des Transports aufgetretenen Ereignissen zugeordnet werden.

Die Art der Verpackung wird üblicherweise durch die Beschaffenheit des Gemäldes, den Transportweg und den Transportmodus bestimmt. Vom einfachen Einhüllen in Luftpolsterfolie bis zur aufwendigen Doppel-Klimakiste kommen in der Praxis zahllose Methoden und Materialkombinationen zum Einsatz, um sowohl einzelne Schocks als auch kontinuierlich einwirkende Vibrationen zu reduzieren. Um die Wirksamkeit respektive die Dämpfungskapazität der bestehenden Verpackungssysteme bewerten und miteinander vergleichen zu können, wurden neben den oben erwähnten Transportmonitorings auch Messfahrten mit identisch auf-

- 11 Saunders, D., Slattery, M., and Goddard, P., Packing case design and testing for the transportation of pastels in *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC – 12th Triennial meeting, Lyon, 29 August - 3 September 1999*, Preprints Vol. 1., James & James, London (1999) S. 100-105.
- 12 Michalski, S., and Marcon, P. J., Mechanical risks to large paintings such as Guernica during transit in *El Guernica y los problemas eticos y tecnicos de la manipulacion de obras de arte*, Fundación Marcelino Botín (2002) S. 87-98.
- 13 Saunders, D., The effect of painting orientation during air transportation in *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC – 14th Triennial Meeting, The Hague, 12-16 September 2005*, Preprints Vol. II., James & James, London (2005) S. 700-707.
- 14 Thickett, D., Vibration damage levels for museum objects in *ICOM Committee for Conservation, ICOM-CC, 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22-27 September 2002*, Preprints Vol. I, ICOM-CC, James & James, London (2002) S. 90-95.
- 15 Wei, W., Art in transit – The need to reconsider the problem of vibrations in the transport of cultural heritage in *International Seminar – Impact of Loan Traffic on Works of Art, Berlin, 4-5 September 2006*, Ratghen-Forschungslabor, Staatliche Museen Berlin (2006).
- 16 Wei, W., Kragt, W., and Vissier., Non-contact measurement of vibrations in *paintings using Laser Doppler Vibrometry* (unpublished manuscript), Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam (2007)
- 17 Vorarbeiten zu dem KTI-Forschungsprojekt wurden sowohl während einer ersten Studie am Kunstmuseum Bern (siehe Anmerkung 30), in Form einer Diplomarbeit im Fachbereich Konservierung und Restaurierung an der Hochschule der Künste Bern (siehe Anmerkung 29) als auch im Rahmen eines BFH-Forschungsprojektes (siehe Anmerkung 18) geleistet.
- 18 Bäschlin, N., Läuchli, M., Fankhauser, T., Palmbach, C., and Hoess, A., Backing boards and glazing on paintings: their damping capacity in relation to shock impact and vibration in *ICOM-CC 16th Triennial Conference, Lisbon, 19-23 September 2011*, Preprints (2011).



1

gebauten aber jeweils unterschiedlich verpackten Testgemälden durchgeführt. Während der Fahrten mit luftgefederten Lkws auf repräsentativen Transportrouten wurde das Schwingungsverhalten der Testgemälde aufgezeichnet. Um sicherzustellen, dass jedes der unterschiedlich verpackten Testgemälde annähernd den gleichen Belastungen ausgesetzt ist, befanden sich auf den Lkws stets gleichzeitig mehrere Testgemälde (Abb. 1). Die getesteten Verpackungsarten entsprechen einer repräsentativen Auswahl gängiger Verpackungsmethoden: Artcase, Luftpolsterfolie, U-Kartonage, Fast-Art Box, Transportrahmen und Klimakiste. An jedem Testgemälde war ein Datenlogger befestigt, der während der Fahrt die auf den Rahmen einwirkenden Immissionen aufzeichnete. Die vom Lkw erzeugten Erschütterungen wurden direkt auf der Ladefläche und an den Wänden gemessen. Der Vergleich der Messdaten der Datenlogger mit den direkt am Lkw gemessenen Immissionen ermöglicht es, das Übertragungsverhalten der Erschütterungen vom Lkw zu den verpackten Testgemälden zu beurteilen. Die Ergebnisse liefern Aufschluss über Vor- und Nachteile der verschiedenen Verpackungsarten und zeigen Ansatzpunkte für Optimierungsmöglichkeiten auf.

## MESSTECHNIK

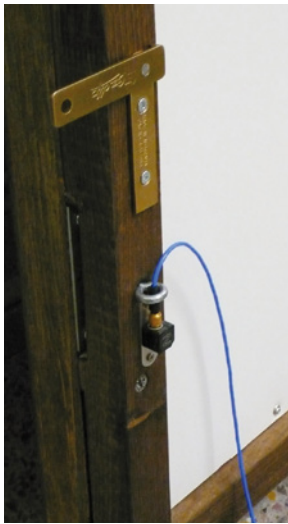
Zur Aufzeichnung der Schock- und Vibrationsimmissionen, die während eines Kunsttransports auf ein in einer Transportkiste verpacktes Gemälde einwirken, können je nach Fragestellung und den damit verbundenen spezifischen Anforderungen verschiedene Messtechniken verwendet werden. So kommen im Rahmen des Forschungsprojektes neben einem modularen Messsystem auch kompakte Datenlogger mit integrierter Sensorik und Stromversorgung zum Einsatz.

### Modulares Messsystem für die Forschung

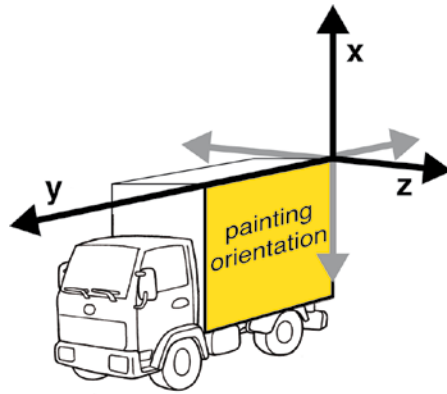
Für Transportmonitorings, die zu reinen Forschungszwecken durchgeführt werden, sowie für Labormessungen mit dem Simulationsgerät wird eine hoch präzise und leistungsstarke Messtechnik benötigt. Für diese Messungen wird daher ein modulares, je nach Bedarf individuell zusammenstellbares Messsystem verwendet. Dieses besteht aus einem Controller zur Steuerung der Messung und Erfassung der Sensorsignale, einem USB-Stick zur Datenspeicherung, einem externen Akku und mehreren externen Beschleunigungssensoren.<sup>19</sup> Aufgrund ihrer geringen

<sup>19</sup> Model Compact RIO der Firma National Instruments.

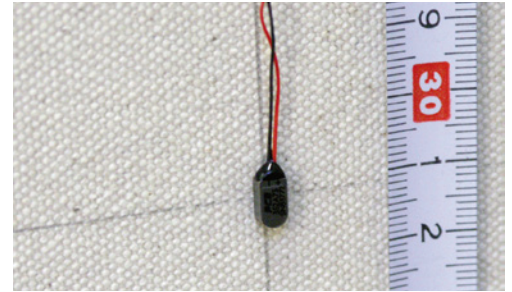
Abb. 1: Messungen zur Bewertung bestehender Verpackungssysteme: Positionierung der unterschiedlich verpackten Testgemälde und der Sensoren zur Erfassung der Immissionen (Pfeile) auf dem Lkw



2



3



4

Größe können die externen Sensoren praktisch an beliebigen Stellen am Gemälde oder an der Transportkiste angebracht werden. Die Bewegungen der Transportkisten und des Rahmens werden jeweils mit einem triaxialen Beschleunigungssensor (Abb. 2) in den drei Bewegungsrichtungen X, Y und Z gleichzeitig gemessen (Abb. 3).<sup>20</sup> Die Leinwandschwingung wird entweder mit einem lediglich 0.3 g schweren, uniaxialen Beschleunigungssensor (Abb. 4) oder aber berührungslos mit einem Triangulationslaser erfasst.<sup>21</sup> Mit dem Controller kann auf bis zu 16 Kanälen gleichzeitig kontinuierlich mit einer hohen Messrate (meist 2000 Hz) gemessen werden, so dass auch Frequenzanalysen möglich sind. Für die Stromversorgung des Controllers wird ein leistungsstarker, auslaufsicherer Akku benötigt, was wiederum die Überwachung selbst mehrere Tage dauernder Transporte ermöglicht. Die Speicherkapazität des Systems hängt vom verwendeten USB-Stick ab.

Das modulare System ist zwar sehr flexibel und höchst präzise, für Transportmonitorings unter realen Bedingungen aber ungeeignet. Dies liegt vor allem an der aufwendigen Bedienung, der Größe des Controllers und des Akkus sowie dem großen logistischen Aufwand bei der Montage der einzelnen Komponenten. Die Messtechnik muss zudem in einer separaten Technikbox mitgeführt werden, welche über Kabel mit den innerhalb der Transportkiste angebrachten Sensoren verbunden ist.

#### Datenlogger für Transportmonitorings unter realen Bedingungen

Um ein Transportmonitoring unter realen Bedingungen durchführen zu können, bedarf es einer Messtechnik, deren Montage möglichst keine Auswirkungen auf die Konzeption der Verpackung und die üblichen Abläufe beim Handling der Transportkiste hat. Eine praktische Alternative zu dem modularen Messsystem stellen daher kompakte Datenlogger dar (Abb. 5).<sup>22</sup> Trotz ihres geringen Gewichts von ca. 69 g und ihrer geringen Größe von 39 x 23 x 72 mm verfügen sie je nach Gerätekonfiguration über einen internen triaxialen Beschleunigungssensor, einen Feuchtigkeitssensor, einen Temperatursensor und über einen integrierten Akku. Die Logger können daher direkt am Rahmen des Gemäldes oder an der Transportkiste befestigt werden, ohne dass dazu die Transportverpackung speziell angepasst werden müsste. Mit den Loggern sind sowohl kontinuierliche Messungen mit einer Messrate von bis zu 1600 Hz möglich, als auch Messungen, bei denen lediglich die Belastungen aufgezeichnet werden, welche einen zuvor definierten Schwellwert überschreiten. Der

20 Modelle 356A16 und 356A14 der Firma PCB Piezotronics, Inc.

21 Model 352A73 der Firma PCB Piezotronics, Inc.

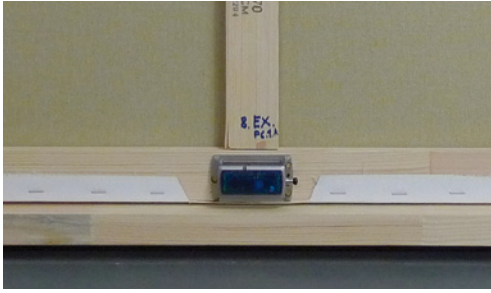
22 Model MSR165 der Firma MSR Electronics GmbH.

Abb. 2: Am Zierrahmen eines Gemäldes montierter triaxialer Beschleunigungssensor

Abb. 3: Definition der drei Bewegungsrichtungen

Abb. 4: Am Bildträger eines Testgemäldes montierter uniaxialer Beschleunigungssensor





5

Beschleunigungssensor erfasst neben den Immissionen auch die konstante Erdbeschleunigung, so dass auch die Lage des Gemäldes während des Transports überwacht werden kann. Da mit einem einzigen Gerät nicht nur Vibrationen und Schocks, sondern auch Klimaschwankungen innerhalb der Transportkiste aufgezeichnet werden können, muss kein zusätzlicher Klimalogger mitgeführt werden. Die große Speicherkapazität der 4GB microSD Karten und der Lithium-Polymer-Akkus erlauben eine lückenlose Aufzeichnung der Belastungen mit maximaler Auflösung, auch bei bis zu 3 Tage dauernden Transporten. Die einfache Bedienung und die kompakte Bauweise erleichtern die Handhabung des Loggers erheblich gegenüber dem modularen Messsystem, so dass sie sich auch für Monitorings eignen, welche nicht ausschließlich Forschungszwecken dienen.

### **Berührungslose Erfassung der Leinwandauslenkung zu Forschungszwecken**

Bei Gemälden ist aus konservatorischen Gründen das Anbringen eines uniaxialen Beschleunigungssensors an der Rückseite des Bildträgers zur Aufzeichnung der Leinwandschwingungen oft nicht möglich, da hierzu doppelseitiges Klebeband verwendet wird. Alternativ können die Leinwandschwingungen jedoch auch berührungslos mit einem Triangulationslaser erfasst werden.<sup>23</sup> Ein weiterer Vorteil dieser Messmethode gegenüber der Verwendung von Beschleunigungssensoren liegt darin, dass hierbei die direkte Messung der Leinwandauslenkung möglich ist, ohne zusätzliche Berechnungen anstellen zu müssen.

Zur Messung der Leinwandauslenkung wird der Laser in geringem Abstand zur Leinwand (20-120 mm) angebracht. Dazu wird eine den Bildträger überspannende Brücke benötigt, an welcher der Laser befestigt wird. Der hierzu erforderliche zusätzliche Platzbedarf muss bei der Konzeption der Verpackung berücksichtigt werden. Die Brücke muss fix mit dem Rahmen des Gemäldes verbunden werden, so dass eine möglichst steife Einheit entsteht (Abb. 6). Während der Messung wird ein Laserstrahl mit äußerst geringer Leistung auf die Leinwand projiziert. Basierend auf dem Triangulationsprinzip registriert der Sensor die durch die Bewegungen der Leinwand verursachte Verschiebung des Lichtpunktes. Unter einem gegebenen Betrachtungswinkel kann damit die Distanz bestimmt werden.

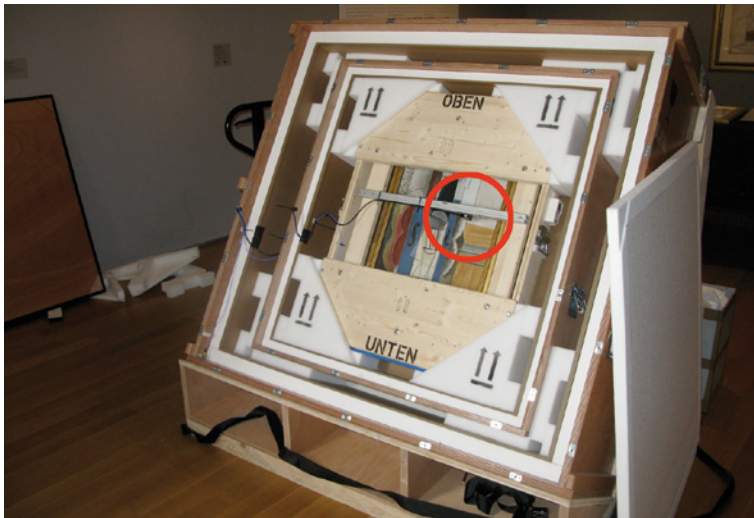
Mit diesem Messverfahren lassen sich zwar auf sehr schonende Weise die Leinwandauslenkungen während eines Transports exakt erfassen, der technische Aufwand ist jedoch aufgrund der nötigen konstruktiven Anpassung der Transportkiste groß. Der Einsatz eines Triangulationslasers eignet sich daher eher für Forschungszwecke.<sup>24</sup>

## **AUSWERTUNGSMETHODEN**

Die Auswertung der Messdaten der Transportmonitorings stellt eine große Herausforderung dar, weil sich die Transporte jeweils stark voneinander unterscheiden und sehr große Datenmengen verarbeitet werden müssen. Die einzelnen Messungen weichen sowohl in der Anzahl, der Art und der Position der Sensoren, der Beschaffenheit und der Lage des Gemäldes (stehend, schräg oder liegend), der Verpackungsart als auch in der Dauer und der Art des Transports (Handling im Museum oder auf dem Flughafen, Flug, Fahrt mit dem Lkw, der Fähre oder dem Zug) stark voneinander ab. Zur Auswertung der umfangreichen Datensammlung (bisher über 12 Mrd. Messwerte) wird daher eine Software benötigt, die zum einen der Heterogenität der Messdaten gerecht wird und zum anderen eine systematische und automatisierte Auswertung großer Datenmengen sowie eine Reduzierung der Informationen auf eine übersichtliche Anzahl

23 Laser-Triangulations-Distanz-Sensor, Model OADM 12U6460/S35A der Firma Baumer Group.

24 Lasyk, L., Lukomski, M., Bratasz, L., and Kozlowski, R., Vibration as a hazard during the transportation of canvas paintings in *Studies in Conservation*, 53. Jg., Supplement 1 (2008) S. 64-68.



6

aussagekräftiger Kennwerte und Diagramme ermöglicht. Dazu wurde ein Software Tool entwickelt, das aus einem Bündel von MATLAB-Skripten besteht.<sup>25</sup> Die Skripte werden im Rahmen des Forschungsprojektes hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit und entsprechend den besonderen konservatorischen Anforderungen entsprechend ständig weiterentwickelt.

Die Auswertung der Messdaten beginnt mit der Definition aussagekräftiger Kennwerte, wie rms-Wert (Root Mean Square / quadratischer Mittelwert einer zeitlich veränderlichen physikalischen Größe; hier Maß für die durchschnittliche Beschleunigung), Extremwerte (Maxima und Minima) und dominante Frequenzen. Daneben werden weitere statistische Kennwerte ermittelt (Mittelwert, Varianz, Schiefe, Kurtosis). Um Informationen über die Eigenfrequenzen von Transportmittel, Verpackung und Gemälde zu erhalten, wird das Signal in seine Frequenzanteile zerlegt und dessen Leistungsdichtespektrum (PSD, Power-Spectral-Density) ermittelt, wodurch sich die Immissionen besser charakterisieren lassen. Frequenzgänge wiederum geben Aufschluss über das Übertragungsverhalten zwischen zwei Messpunkten, z.B. zwischen Transportkiste und Gemälde, wodurch sich auch die Resonanzfrequenzen bestimmen lassen. Die Schockzählung dient der Ermittlung der Häufigkeit und Intensität der aufgezeichneten Schocks.

Diese Kennwerte erlauben es, bestimmte Eigenschaften von Beschleunigungsverläufen verständlich zu beschreiben und miteinander zu vergleichen. Sie lassen sich je nach Bedarf entweder für den gesamten Transport, für einzelne Transportabschnitte oder für einzelne Zeitfenster bestimmen. Meist werden die Daten jedoch getrennt nach Transportmodi ausgewertet. Die Kennwerte werden entweder grafisch als Balken-, Linien- oder Punktediagramm oder aber als Wertetabelle dargestellt.

Zu Beginn müssen die äußeren Umstände des Transports, wie z.B. Transportmodi, Lage und Positionierung der Sensoren und des Gemäldes, Messrichtungen und Bezugssystem, definiert werden. Das Software Tool liest und analysiert dann die verschiedenen Sensorsignale, welche sich über mehrere Dateien erstrecken können, und berechnet für die zuvor definierten Transportabschnitte die verschiedenen Kennwerte. Die Resultate werden durch das automatische Erstellen von Wertetabellen und Diagrammen für die Reports (Kurzberichte) aufbereitet. Am Ende jeder Datenauswertung steht ein einheitlicher Report, in dem die wichtigsten Resultate zusammengefasst und interpretiert werden.

25 MATLAB ist eine Software des Unternehmens The MathWorks, Inc. zur Lösung mathematischer Aufgaben und zur grafischen Darstellung der Ergebnisse.

Abb. 6: Gemälde in einer Doppel-Klimakiste mit an einer Brücke befestigtem Triangulationslaser (roter Kreis) zur Erfassung der Leinwandauslenkung

Transport	Kennwert [m/s <sup>2</sup> ]	Handling Museum	Lkw	Handling Flughafen	Flug / Bahn / Schiff
Bern - Budapest	rms	0.08 - 0.25	0.4 - 0.67	-	-
	Max	7 - 85	8 - 34	-	-
Basel - New York	rms	0.05 - 0.17	0.46 - 0.84	0.05 - 0.16	0.05 - 0.11 (Flug)
	Max	5 - 22	7 - 41	8 - 16	1.7 - 5 (Flug)
Bern - Zürich	rms	0.08 - 0.15	0.41 - 0.90	-	-
	Max	5 - 13	13 - 19	-	-
Zürich - New York	rms	0.06 - 0.15	0.43 - 1.02	0.18 - 0.71	0.10 - 0.15 (Flug)
	Max	4 - 15	4 - 26	8 - 24	8 - 9 (Flug)
New York - Bern	rms	0.07 - 0.19	0.40 - 1.34	0.16 - 1.26	0.10 - 0.20 (Flug)
	Max	5 - 32	9 - 42	26 - 89	5 - 8 (Flug)
Basel - London	rms	0.19 - 0.31	0.46 - 1.48	-	0.22 - 0.29 (Bahn)
	Max	4 - 9	15 - 76	-	3 - 7 (Bahn)
Bern - Humlebaek	rms	0.13 - 0.79	0.32 - 0.80	-	0.11 - 0.23 (Schiff)
	Max	4 - 29	6 - 35	-	1 - 2 (Schiff)

Tab. 1

## ERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

Die bisher publizierten punktuellen Studien lieferten hauptsächlich Maximalwerte der vertikal einwirkenden Beschleunigung (X-Achse).<sup>26</sup> Die vorliegende Studie umfasst sowohl die Auswertung der Maximalwerte wie auch im direkten Vergleich dazu die der Durchschnittswerte (rms). Diesen ist große Bedeutung beizumessen, insbesondere im Zusammenhang mit kontinuierlich einwirkenden Immissionen, wie sie vor allem bei Lkw-Fahrten auftreten. Des Weiteren liegen nun durch das aktuelle Projekt neben den Werten der X-Achse auch Vergleichswerte der beiden anderen Raumrichtungen vor (Y- und Z-Achse) (Abb. 3). Die Daten zeigen, dass bisher zu Unrecht hauptsächlich die X-Achse berücksichtigt wurde. Insbesondere die Immissionen der Z-Achse sind ebenfalls höchst relevant, da sie zum einen oft mindestens so hohe Beschleunigungsamplituden aufweisen und zum anderen diese Immissionen in der Hauptschwingungsrichtung der Bildträger einwirken.

Anhand des Schockzählverfahrens lässt sich die Anzahl von Schockimmissionen mit relevanten Amplituden innerhalb ausgesuchter Zeitsequenzen bestimmen. Für die Risikoeinschätzung eines Transportweges liefert diese Auswertungsmethode neue Grundlagen.

Die ermittelten Frequenzspektren ergänzen die statistische Auswertung der Beschleunigungswerte um die qualitative Charakterisierung der Immissionsdaten. Obwohl deren Auswertung sehr komplex ist und bisher nur punktuell durchgeführt wurde, liegen bereits wichtige Informationen vor, die neue Annahmen zur Identifizierung der Immissionsquellen zulassen: So wird nun beispielsweise ersichtlich, dass die Immissionen des Lkws im Bereich unterhalb von ca. 40 Hz durch die aktuellen Dämpfungsmethoden fast gar nicht und im Bereich darüber nur punktuell gedämpft werden. Hier besteht demzufolge ein klarer Handlungsbedarf.

Die aufgezeichneten Immissionsdaten werden sowohl als Ganzes als auch getrennt nach den verschiedenen Transportmodi ausgewertet. Die Erfassung der charakteristischen Unterschiede zwischen den Transportmodi ist die Voraussetzung für eine optimierte Risikoeinschätzung.

Erstmals liegen nun Vergleichsdaten der Immissionswerte für die unterschiedlichen Immissionsquellen Lastwagenwand, Lastwagenboden, äußere und innere Kiste sowie Rahmen vor, wobei an letzterem die meisten Messwerte gesammelt wurden. Auch diese Daten dienen der qualitativen Auswertung der Immissionsdaten.

26 Saunders [10] bestimmt in seiner Studie die Maximalwerte der aufgezeichneten Beschleunigungen innerhalb von 30 s-Abschnitten, gemessen in vertikaler Richtung (X-Achse) am Objekt. Bei den meisten Transporten im Lkw wurden abhängig von der Art der Transportkiste, dem Fahrzeugtyp und dem Fahrbelag 5-10 m/s<sup>2</sup> (Vibrationen) und bis zu 50 m/s<sup>2</sup> (Schocks) gemessen. Bei Flugtransporten kam es beim Handling der Kisten und beim Palettisieren zu Schocks mit bis zu 100 m/s<sup>2</sup>. Während Schifffahrten lagen die Beschleunigungswerte der Vibrationen unter 1 m/s<sup>2</sup> und während Flügen bei bis zu 3 m/s<sup>2</sup>. Saunders diskutiert lediglich die Maximalwerte der X-Achse. Seine Angaben zu den auf dem Lkw aufgetretenen Maximalwerten liegen deutlich tiefer als die im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts gemessenen. Allgemein scheint aus heutiger Sicht die alleinige Diskussion der Maximalwerte nicht genügend aussagekräftig.

Marcon [6] beziffert Beschleunigungsspitzen in vertikaler Richtung (X-Achse) während einem Flug (Landung) mit 11 m/s<sup>2</sup> und größer. Während starkem Wellenschlag auf See werden bis 15 m/s<sup>2</sup>, bei der Ankopplung eines Bahnwaggons gar bis 430 m/s<sup>2</sup> erreicht. Auch hier liegen lediglich Maximalwerte in der X-Richtung vor.

Transport	Kennwert [m/s <sup>2</sup> ]	Handling Museum	Lkw	Handling Flughafen	Flug / Schiff
Bern - Zürich	rms	0.09 - 0.22	0.28 - 0.96	-	-
	Max	16 - 71	9 - 20	-	-
Zürich - New York	rms	0.07 - 0.17	0.29 - 0.88	0.12 - 0.78	0.14 - 0.23 (Flug)
	Max	9 - 24	5 - 27	13 - 26	8 - 14 (Flug)
New York - Bern	rms	0.07 - 0.23	0.24 - 1.20	0.12 - 1.19	0.07 - 0.13 (Flug)
	Max	9 - 53	7 - 24	23 - 84	3 - 7 (Flug)
Testfahrten:	rms	-	0.30 - 1.81	-	-
Diverse Routen	Max	-	5 - 70	-	-
Bern - Humlebaek	rms	0.05 - 0.25	0.33 - 0.55	-	0.02 - 0.24 (Schiff)
	Max	16 - 89	7 - 13	-	0 - 2 (Schiff)

Tab. 2

Vergleiche zwischen den verschiedenen Transporten bleiben schwierig, da die Beschaffenheit der Objekte, der Verpackungen und der Transportmittel von Monitoring zu Monitoring stark variiert. Die Vielfalt der Daten ist symptomatisch für die Vielfalt der zu transportierender Kunstwerke, deren Geometrie und Gewicht. Neue Resultate zu charakteristischen Immissionen, die auf die jeweils stark abweichende Beschaffenheit der Kisten zurückzuführen sind, dienen ebenfalls der differenzierteren Risikoinschätzung. (Tabelle 1)

### Messungen am Gemälderahmen

Die zusammengetragene Datensammlung umfasst vor allem die an den Gemälderahmen gemessenen Immissionen.<sup>27</sup> Tabelle 1 zeigt einige ausgewählte Transporte und die dazugehörigen Maxima und Durchschnittswerte (rms). Da für diese Übersicht mit verschiedenen Sensoren gemessene Daten herangezogen wurden und verschiedene Immissionsrichtungen vorliegen, wird jeweils ein Wertebereich angegeben.

Obwohl die Beschleunigungen jeweils am gepolsterten Objekt gemessen wurden, sind beachtliche Beschleunigungsspitzen (Max) von bis 89 m/s<sup>2</sup> zu verzeichnen. Diese treten einerseits in Handling-Situationen auf, wie dies gemäß Literatur erwartet werden kann<sup>10</sup>, jedoch auch während der Lkw-Fahrten (76 m/s<sup>2</sup>). Bei Transporten mit dem Flugzeug hingegen kommt es nur zu kleineren Maxima mit bis zu 9 m/s<sup>2</sup>. Bei Transporten mit der Bahn und dem Schiff liegen die Werte sogar noch tiefer.

Die gemessenen Durchschnittswerte (rms) liegen deutlich über den in der Literatur publizierten Daten.<sup>28</sup> Verhältnismäßig hohe Werte von bis zu 1.48 m/s<sup>2</sup> treten während Lkw-Fahrten aufgrund kontinuierlicher Vibrationen auf. Beim Handling liegen die rms-Werte meist tiefer, da Stillstandzeiten zwischen einzelnen Arbeitsschritten entsprechend zu Buche schlagen. Die ausgewerteten Flug-, Bahn- und Schiff-Sequenzen weisen zwar ebenfalls kontinuierliche Vibrationen auf, diese fallen jedoch viel schwächer aus. (Tabelle 2)

### Messungen an der äußeren Kistenwand

Für die Beurteilung der Transportmodi sind weniger die am Objekt selbst gemessenen, als vielmehr die Beschleunigungswerte der Immission des verwendeten Transportmittels zu berücksichtigen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Resultate. Die Tabelle ist entsprechend kürzer als Tabelle 1, da nicht bei allen Transporten Messungen an der äußeren Kiste oder direkt am Fahrzeug vorgenommen wurden resp. möglich waren.

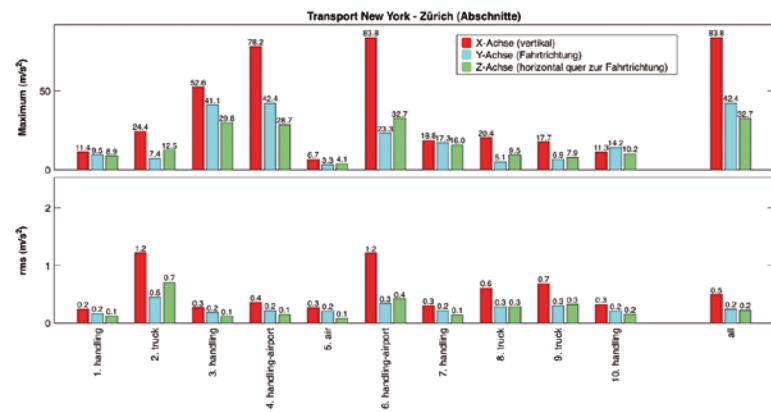
Es sollte erwartet werden, dass hier sämtliche Beschleunigungskennwerte höher liegen als die am gepolsterten Objekt gemessenen. Dies ist

27 Mittelformate zwischen 65 x 46 cm und 219 x 296 cm.

28 Caldicott [5] bestimmt zusätzlich zu den Maximalwerten auch den quadratischen Mittelwert (rms) der Beschleunigungssignale, macht jedoch keine Angaben über die Messrichtung und die Sensorposition. Bei Lkw-Transporten auf der Autobahn werden Vibrationen von 0.3-0.4 m/s<sup>2</sup> (rms) gemessen. Auch hier liegen die Werte der Lkw-Fahrten deutlich tiefer als die im Rahmen der vorliegenden Studie gemessenen. Ein möglicher Hauptgrund könnte darin liegen, dass sich Caldicott's Aussagen auf eine viel geringere Anzahl von Messdaten stützen.

Tabelle 2: Kennwerte der während der Monitorings am Fahrzeug gemessenen Immissionen (fett = Höchstwerte)





7

jedoch nur teilweise der Fall. Bei den Lkw- und Flug-Sequenzen werden die Beschleunigungswerte teilweise sogar verstärkt. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Ein Aufschwingen des Objekts in seiner Polsterung ist mitunter der häufigste Grund.<sup>18</sup>

Die höchsten Beschleunigungsspitzen von bis zu 89  $m/s^2$  treten wiederum während den Handling-Situationen auf. Den höchsten rms-Wert von 1.81  $m/s^2$  erreicht eine Testfahrt mit einem luftgefederten Lkw, für die absichtlich Straßen mit eher schlechtem Fahrbelag ausgewählt wurden. Die übrigen Transportsituationen weisen eine ähnliche Charakteristik auf wie die an den Objekten gemessenen Beschleunigungswerte (Tabelle 1).

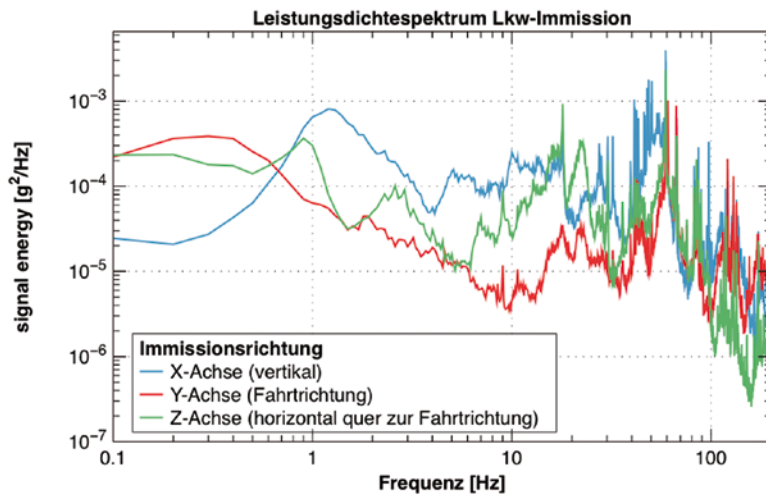
Wie sehr sich die Immissionen der verschiedenen Transportmodi voneinander unterscheiden, verdeutlicht auch Abbildung 7. Das Balkendiagramm zeigt exemplarisch die an der äußeren Transportkiste gemessenen Durchschnittswerte (rms) und Maxima (Schocks) eines Gemäde-transportes von New York nach Zürich. Die Immissionen in der X-Achse sind am größten. Es wird aber auch hier deutlich, dass die Immissionen in der Z-Achse ebenfalls nicht zu unterschätzen sind. Wie erwartet sind die Belastungen für das Gemälde während dem Flug am geringsten, wohingegen während der Handling-Situationen, insbesondere auf den Flughäfen und während der Lkw-Fahrten die stärksten Beschleunigungen zu verzeichnen sind.

Abbildung 8 zeigt die Charakteristik eines exemplarischen Leistungsdichtespektrums der direkt am Lkw gemessenen Immissionen. Auffallend sind hier die dominanten Frequenzen um 1 Hz in vertikaler Richtung (X-Achse) und quer zur Fahrtrichtung (Z-Achse), die auf die Resonanz der Luftfederung des Lkws zurückzuführen sind. Relativ starke Signalanteile zeigen auch die beiden horizontalen Richtungen (Y- und Z-Achse) im Bereich von 0.1-0.5 Hz, verursacht durch das Beschleunigen resp. Abbremsen des Lkws und die Kurvenfahrt. Resonanzen in der Fahrzeugstruktur, Bodenunebenheiten und die Vibrationen des Motors wiederum sind verantwortlich für die zahlreichen dominanten Frequenzen in allen drei Richtungen im Bereich von 10-100 Hz. Oberhalb von 100 Hz sind eher wenige resp. nur noch schwache Schwingungen zu verzeichnen.

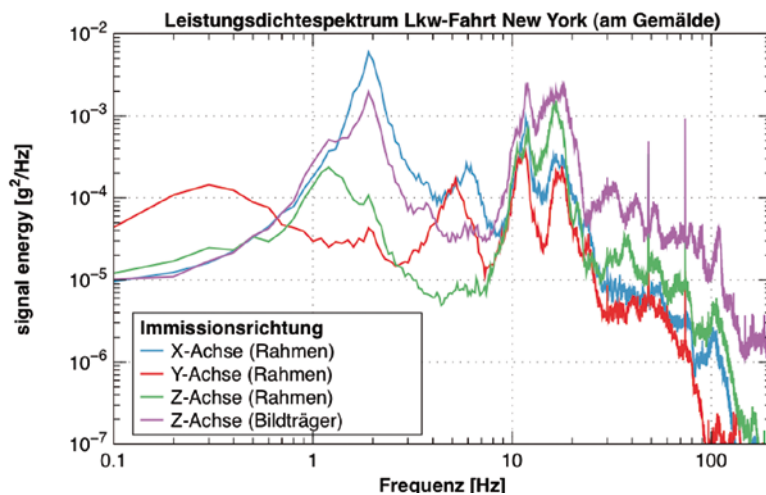
### Fokus: Charakteristische Immissionen bei Lkw-Transporten

Exemplarisch seien hier einige Resultate zur Charakterisierung der am Gemälderahmen gemessenen Lkw-Immissionen aufgeführt, nicht zuletzt weil sie deutlich von der bisher publizierten Literatur abweichen und nachweislich zu starken Gewebeschwingungen führen.<sup>26</sup> Zudem ist zu beachten, dass die Lkw-Abschnitte bei vielen Kunsttransporten mit wechselnden Transportmodi am längsten dauern. Die Fachliteratur cha-

Abb. 7: Während eines Gemäde-transportes von New York nach Zürich an der Transportkiste gemessene Immissionen der verschiedenen Transportmodi



8



9

rakterisiert die Lkw-Immissionen hauptsächlich anhand der Maximalwerte. Diese weisen typischerweise sehr grosse Schwankungen auf, in Abhängigkeit etwa des Fahrzeugs, des Zustands des Straßenbelags und des Fahrstils. Weiter kann sich die Anwesenheit eines Kuriers positiv auswirken. Die im Rahmen des Forschungsprojekts ermittelten Maximalwerte liegen tiefer als die bisher publizierten Werte. Viel aussagekräftiger erweist sich jedoch der Vergleich der Durchschnittswerte (rms). Diese liegen zwar generell deutlich tiefer als die Maximalwerte, zeichnen sich aber durch große Wiederholungsraten aus. Während eines Langstreckentransports ist ein Gemälde nur rund 20 mal einem Schock von  $30 \text{ m/s}^2$  ausgesetzt. Tiefere Immissionswerte von  $1\text{-}5 \text{ m/s}^2$  sind hingegen während demselben Transport rund 200'000-500'000 mal zu verzeichnen. Weiter kommt hinzu, dass es je nach Frequenzspektrum zu Verstärkungen der Immissionen kommen kann, wie es z.B. in Abbildung 9 ab ca. 10 Hz der Fall ist. Dieser Effekt kann insbesondere dann auftreten, wenn sich die Frequenzen der Immission mit den Resonanzfrequenzen der Verpackungsmaterialien und/oder der Gemälde decken.

Die im Rahmen des Forschungsprojekts gemessenen Durchschnittswerte (rms) sind deutlich höher als in der Fachliteratur angegeben. Caldicott<sup>5</sup> erhielt auf der Lkw-Ladefläche bei guten Straßenverhältnissen Durch-

Abb. 8: Charakteristisches Leistungsdichtespektrum einer Lkw-Fahrt

Abb. 9: Frequenzabhängige Intensitätsverteilung der Vibrationen während einer Lkw-Fahrt in New York, gemessen am Rahmen und an der Leinwand eines großformatigen Gemäldes: Im Vergleich zu den Immissionsspektren der Ladefläche des Lkws werden die Frequenzen unterhalb rund 40 Hz kaum gedämpft.

schnittswerte von 0.3-0.4 m/s<sup>2</sup> (rms). Die aktuellen Messungen an den Rahmen der Gemälde weisen jedoch regelmäßig Durchschnittswerte bis 0.8 m/s<sup>2</sup> (rms), vereinzelt bis 1.48 m/s<sup>2</sup> (rms) auf. Die Gründe für diese Abweichungen sind vielfältig. Es ist zu vermuten, dass die vergleichsweise große Datenmenge des Forschungsprojekts zur Differenzierung der Angaben beiträgt. Weiter ist interessant, dass die höchsten Durchschnittswerte in der vertikalen Bewegungsrichtung (X-Achse) und in der Bewegungsrichtung parallel zur Schwingungsrichtung des Gewebes (Z-Achse) auftreten. Insbesondere die Durchschnittswerte in der Z-Achse variieren stark in Abhängigkeit der Bauart der Transportkisten (Material und Art der Montage des Gemäldes in der Kiste). Auch dadurch ergibt sich ein hoher Optimierungsbedarf bezüglich der Transportkisten.

Die ermittelten Frequenzspektren zeigen, dass im Vergleich zu den Immissionspektren der Ladefläche des Lkws die Frequenzen unterhalb rund 40 Hz kaum gedämpft werden (Abb. 9). Bedenkt man, dass die gemessenen Eigenfrequenzen der Gemälde-Systeme meist genau in diesem Frequenzbereich liegen, wird ersichtlich, dass hier ein deutliches Gefahrenpotential besteht.<sup>18, 29</sup> Der Frequenzbereich über rund 40 Hz wird durch die Verpackung tendenziell gut gedämpft, vereinzelte hohe Intensitäten sind dennoch immer wieder zu verzeichnen. Die Messungen machen deutlich, dass die Frequenzspektren der Verpackungsmaterialien in Abhängigkeit von den Immissionsfrequenzen des Lkws neu evaluiert werden müssen.

Diese Resultate sind in Bezug auf die Risikoabschätzung beim Transport fragiler Gemälde und die Optimierung der präventiven Maßnahmen von hoher Relevanz.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die im Rahmen des Forschungsprojekts zusammengetragene Datensammlung liefert im Vergleich zu den bisher publizierten Forschungsergebnissen zum Thema eine vergleichsweise große Datenmenge und neu eine systematische breit angelegte Auswertung der Messwerte. Die Datensammlung ermöglicht damit erstmals eine differenzierte Charakterisierung der Immissionen.

Die Resultate zeigen deutlich, dass die Immissionsrichtung senkrecht zum Bildträger eines Gemäldes (Z-Achse) höhere Werte aufweist als erwartet. Diese Immissionsrichtung wurde bisher zu wenig beachtet und die Vibrationen in dieser Richtung dementsprechend nur ungenügend gedämpft.

Die Durchschnittswerte (rms) der Immissionen wurden in der Literatur bisher nur selten erwähnt.<sup>5</sup> Für die Charakterisierung der Vibrationsimmissionen sind sie aber von besonderer Bedeutung und haben einen größeren Aussagewert als die alleinige Angabe der Extremwerte. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Durchschnittswerte (rms) höher als erwartet sind. Dies betrifft insbesondere die während Lkw-Transporten auftretenden Immissionen, welche von besonderer Bedeutung sind, da dieses Transportmittel am häufigsten genutzt wird und die Fahrten oft sehr lange dauern.

Diese Ergebnisse sind zum einen relevant für die Risikoanalyse und zum anderen decken sie deutliche Mängel bei den aktuellen Präventionsstrategien auf. Viele der geprüften Verpackungen führen überraschenderweise nicht zu der angestrebten Reduzierung, sondern zu einer Verstärkung der Vibrationsimmissionen. Grund hierfür sind vor allem Resonanzschwingungen, welche durch das kombinierte System bestehend aus Verpackung, Gemälde und Rückseitenschutz verursacht werden. Die Resultate belegen somit einen hohen Optimierungs- und Entwicklungsbedarf bezüglich der Transportverpackung. Die umfassende Datensamm-

29 Palmbach, C., Messung transportbedingter Schwingungen an textilen Bildträgern, unveröffentlichte Diplomarbeit, Berner Fachhochschule / Hochschule der Künste Bern (2007).

30 Bäschlin, N., Fragile Kunstwerke auf Reisen – Eine Risikoabschätzung am Beispiel von Paul Klees „Ad Parnassum“ in „Ad Parnassum“ – auf dem Prüfstand. *Kunsthistorische und konservatorische Fragen rund um ein berühmtes Bild. Beiträge des Kolloquiums im Kunstmuseum Bern vom 22. Oktober 2006, Schriftenreihe des Kunstmuseums Bern*, Nr. 10 (2007) S. 57-70.

lung zeigt uns aber nicht nur bestehende Defizite auf, sondern gibt auch vielversprechende Hinweise zu den Ursachen und den Optimierungsmöglichkeiten. Diese sind Gegenstand der aktuellen Forschungen.

## ZUSAMMENFASSUNG | SUMMARY

Schock- und Vibrationsimmissionen gelten im Zusammenhang mit Kunsttransporten als wichtige Risikofaktoren. Sie können den Rahmen und den textilen Bildträger eines Gemäldes in Schwingung versetzen, wodurch es zu Schäden an der Grundierungs- und Malschicht kommen kann. Schockimmissionen entstehen hauptsächlich beim Handling in den Museen und beim Umladen auf ein anderes Transportmittel. Kontinuierlich einwirkende Vibrationen hingegen treten insbesondere während Lkw- und Flug-Transporten auf. Eines der Ergebnisse eines laufenden Forschungsprojekts an der Berner Fachhochschule ist eine umfangreiche Datensammlung zu solchen Schock- und Vibrationsimmissionen. Die Datensammlung ermöglicht erstmals die quantitative und qualitative Charakterisierung von Transportimmissionen. Im Vergleich zu den bisher publizierten Daten, welche meist während einzelner Transporte gewonnen wurden, basieren die aktuellen Resultate auf einer wesentlich größeren Datenmenge und viel umfassenderen Auswertungsmethoden. Sie weichen in einigen interessanten Punkten deutlich von den Ergebnissen früherer Studien ab und/oder ergänzen diese mit relevanten inhaltlichen Differenzierungen. Zudem erlauben sie neue zusätzliche Interpretationsmöglichkeiten, insbesondere zu den Immissionen, welche während der Lkw-Transporte auftreten. Im Vordergrund stehen dabei zwei Hauptkenntnisse: Die kontinuierlich einwirkenden Immissionen (Vibrationen) weisen deutlich höhere Maximalwerte und Durchschnittswerte auf als bisher angenommen. Auch in der Bewegungsrichtung parallel zur Schwingungsrichtung der Bildträger ist mit höheren Beschleunigungswerten zu rechnen. Die Betrachtung der Leistungsdichtespektren (Verteilung der dominanten Frequenzen) ermöglicht zudem auch eine qualitative Auswertung der Vibrationsimmissionen.

Exposure of paintings to shock and vibration during transport is known to be a potential risk to the integrity of an artwork. Immissions will be transferred to both frame and canvas, causing damage to paint layers and grounds. Shock events are caused mainly by handling within museums and by transfers to other vehicles during transportation. Continuous vibrations were documented to particularly occur during truck and air shipment. A large number of data for shock and vibration measurements was collected and evaluated within this on-going project at the Bern University of Applied Sciences. This extensive amount of data delivers, for the first time, both qualitative and quantitative characterisation of shock events and vibration sequences for different modes of transportation. Compared to previously published data that was limited to single transport events of a particular artwork, the current results are based on a much larger amount of data and more comprehensive evaluation methods. Some results differ significantly from previous study results; others will well complement them with relevant differentiations. Some new results on continuous vibrations during truck travel are of particular relevance: maximum and average vibration levels were significantly higher than previously assumed; and acceleration values perpendicular to the canvas plane were also considerably higher than expected. Interpretations of the power density spectra (distribution of dominant frequencies) allow a qualitative evaluation of vibration.