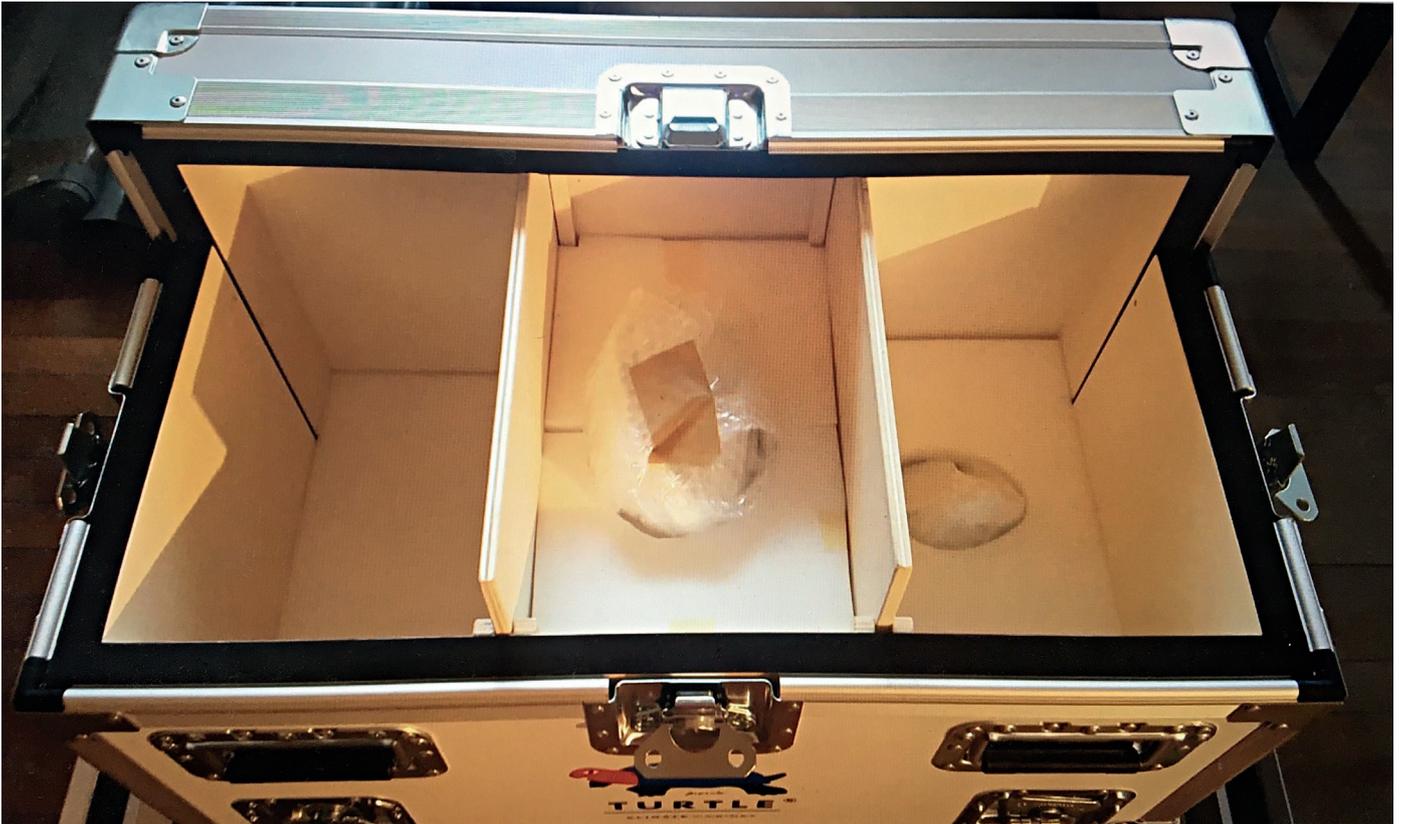


Wie ein Turbanschneckenpokal vom Schloss Güstrow nach New York reiste

Die Staatlichen Schlösser, Gärten und Kunstsammlungen Mecklenburg-Vorpommern (SSGK MV) arbeiteten mit Professorin Kerstin Kracht, Ingenieurin für Schwingungstechnik & Strukturdynamik zusammen, um gemeinsam eine Transportverpackung mit einer objektbezogenen maximalen Schwingungsreduzierung und Schockabsorption zu entwickeln: Das Risiko neuer Schäden auf dem Transportweg sollte minimiert werden

1



Danksagung

Ein herzliches Dankeschön wird an dieser Stelle Claudia Köhler, Restauratorin für kunsthändlerische Objekte und archäologisches Kulturgut der Staatlichen Schlösser, Gärten und Kunstsammlungen Mecklenburg-Vorpommern, für die stets kooperative und kompetente Zusammenarbeit während des Projekts ausgesprochen. Außerordentlicher Dank gebührt TURTLE®, ohne deren Kompetenz und sehr hohen Qualitätsstandards sowie Wohlwollen die Realisierung dieser Transportkiste nicht möglich gewesen wäre.

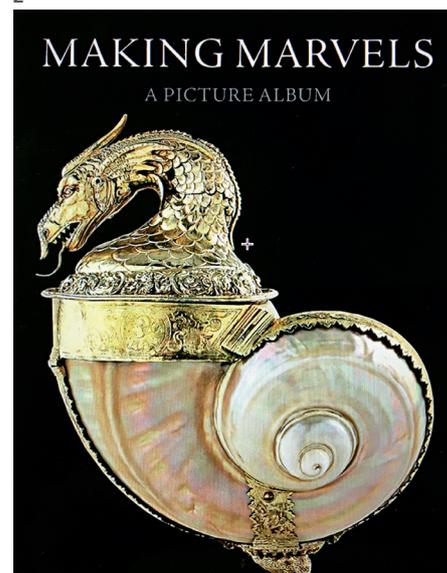
Das Verleihen von Kunstwerken stellt oftmals eine große Herausforderung dar. Der Wunsch der Kunsthistoriker und Kuratoren, herausragende Stücke einem großen Publikum zugänglich zu machen und den Austausch mit anderen Museen zu fördern, wird von den Restauratoren, die für die Erhaltung und Pflege der Sammlungen zuständig sind, begleitet. Die Aufgabe der Restauratoren ist hierbei u. a. die Überprüfung der Machbarkeit eines Transports bzw. die Vorgabe der Bedingungen, unter denen ein Transport dem Objekt zugemutet werden kann.

Die Frage der Transportfähigkeit eines fragilen Sammlungsobjekts der Staatlichen Schlösser, Gärten und Kunstsammlungen Mecklenburg-Vorpommern stellte sich auch im Juli 2018 anlässlich einer Leihanfrage des New Yorker Metropolitan Museum of

Art für die Ausstellung „Making Marvels. Science & Splendor at the Courts of Europe“, die vom 19. November 2019 bis zum 3. März 2020 gezeigt wurde.

Angefragt wurde ein kostbarer Turbanschneckenpokal, gefertigt vermutlich um 1600 im Nürnberger Raum. Eine seltene Turbanschnecke formt den Korpus, der von gravierten Silberspangen gefasst wird. Ein fein getriebener und graviertes Drachenkopf stellt den auf die Schnecke passenden Deckel dar. Die Schnecke steht zudem auf Beinen mit Krallen. Das Objekt wurde um 1752 mit einem Standfuß aus Messing stabilisiert.

Neben der Fragilität des Schneckengehäuses werden besonders bereits bestehende Schäden, die die Stabilität der Gesamtkonstruktion mindern, als bedenklich eingeschätzt. Mehrere kleine Risse befinden sich



- 1 Fixierung des Turbanschneckenpokals in der Innenkiste
- 2 Der Turbanschneckenpokal auf dem Cover des METs Bilderalbums zur Ausstellung „Making Marvels“

Zu den Autorinnen

Kerstin Kracht ist Gastprofessorin für die Mechanik von Kunstwerken und Kulturobjekten am Fachgebiet Kontinuumsmechanik und Materialtheorie der Technischen Universität Berlin. Außerdem ist Kerstin Kracht freiberufliche Ingenieurin für Schwingungstechnik und Strukturmechanik. Seit 16 Jahren erforscht sie neue Erkenntnisse und entwickelt Methoden zum Schutz von Kunstwerken und Kulturgütern vor Schocks und Vibrationen.
Kontakt: dr.kracht@vibrationsmanagement.de

Katalin Baruth M.A. übernahm als eine der Projektverantwortlichen in der Betreuung der Sammlung der Staatlichen Schlösser, Gärten und Kunstsammlungen Mecklenburg-Vorpommern die Kurierbegleitung für den Transport des Turbanschneckenpokals vom New Yorker Metropolitan Museum zum Staatlichen Museum in Schwerin.
Kontakt: Katalin.baruth@hotmail.de

ABSTRACT

How a turban snail trophy travelled from Güstrow Castle to New York

The State Palaces, Gardens and Art Collections of Mecklenburg-Vorpommern (SSGK MV) worked together with Dr. Kerstin Kracht, Engineer for Vibration Technology & Structural Dynamics, to jointly develop a transport packaging with an object-related maximum reduction of vibration and shock absorption. The risk of new damages during transport should be minimized.

im Halsbereich. Zudem zieht sich ein ausgeprägter Riss entlang der Außenkanten beider Knöchel. Diese schmal gearbeitete Partie aus vergoldetem Silber trägt das aufliegende Gesamtgewicht des Objekts und ist das verbindende Element zwischen dem schweren Messingfuß und dem Oberteil. Dementsprechend besteht die starke Vermutung, dass weitere mechanische Beanspruchungen wie Stöße, ruckartige Bewegungen und Vibrationen zu einem Bruch führen würden. Um diesen schlechtesten Fall, aber auch kleinere Beschädigungen, wie Abreibungen, Deformationen und Druckstellen zu vermeiden, wurden verschiedene Ansätze diskutiert.

Ruckartige Bewegungen können zum Beispiel durch Fehler im direkten Umgang mit dem Objekt passieren. Zur Vermeidung dieser war die fachkundige Begleitung der Reise des kostbaren Pokals in die USA notwendig. Eine Restauratorin der Staatlichen Schlösser, Gärten und Kunstsammlungen Mecklenburg-Vorpommern (SSGK MV) sorgte für die korrekte Handhabung des Objekts und der Transportkiste.

Des Weiteren entschieden sich die Mitarbeiter der SSGK MV basierend auf den Erfahrungen eines vorherigen Projekts für die Zusammenarbeit mit Professor Dr. Kerstin Kracht, Ingenieurin für Schwingungstechnik und Strukturmechanik. Ziel der Zusammenarbeit war die Entwicklung einer Transportverpackung mit einer objektbezogenen maximalen Schwingungsreduzierung und Schockabsorption, um das Risiko neuer Schäden auf dem Transportweg zu minimieren.

Im Mittelpunkt dieser Entwicklung stand das Objekt selbst – insbesondere dessen Schwingungsverhalten. Mit Hilfe eines Simulationsmodells auf der Basis der Finiten Elemente Methode (FEM) konnten die ersten drei Eigenfrequenzen und die dazu gehörigen Eigenformen abgeschätzt werden.

Für den Aufbau des Rechenmodells wurde die Geometrie des Pokals mit einem Netz aus Finiten Elementen approximiert. Jedem Finiten Element wurde ein bestimmtes mechanisch-dynamisches Verhalten mit spezifischen Materialeigenschaften sowie Rand- und Übergangsbedingungen (Lagerung) zugeordnet. Aus diesem Netz wurde anschließend ein

Gleichungssystem bestehend aus Vektoren und Matrizen generiert, welches schließlich mit dem internen Solver des FEM-Programms gelöst wurde. Die Eigenfrequenzen und Eigenformen sind das Resultat.

An der beschriebenen Vorgehensweise der Berechnung der Eigenfrequenzen und Eigenformen wird deutlich, welche Parameter grundsätzlich das Schwingungsverhalten von Objekten und Gemälden beeinflussen. Doch warum war die Kenntnis des dynamischen Verhaltens des Turbanschneckenpokals für die Entwicklung seiner schützenden Verpackung essenziell?

Wie die Simulationen zeigten, vibrierte das Objekt in einer ihm eigenen Art und Weise mit bestimmten Frequenzen, den Eigenfrequenzen. Die Erscheinung bzw. das Aussehen der Schwingung bei einer bestimmten Eigenfrequenz war die Eigenform. Dies bedeutete, dass zu jeder Eigenfrequenz eine bestimmte Eigenform gehörte.

Während des Transports wurden zeitveränderliche Kräfte in den Turbanschneckenpokal eingeleitet. Diese Kräfte verursachten Vibrationen des Objekts, die sich in Form von elastischen Deformationen des Turbanschneckenpokals bemerkbar machen.

Im Gegensatz zu plastischen Deformationen, wie zum Beispiel Dellen, waren elastische Deformationen nicht mehr vorhanden, sobald die Anregung unterblieb. Dennoch bedeuteten auch elastische Deformationen eine Belastung des Objekts, da sich eine Ermüdung im Lauf der Zeit einstellen konnte. Die Ermüdung wäre durch einen Ermüdungsbruch sichtbar geworden bzw. die vorhandenen Risse wären fortgeschritten.

Die fremderregten Vibrationen des Objekts waren ein Resultat aus der Summe verschiedenen gewichteter Eigenformen. Die Wichtung hing von Betrag, Richtung, Angriffspunkt und Frequenz der anregenden Kräfte ab. Um die Amplituden der Schwingungsantwort des Objekts in der Schutzverpackung zu minimieren, mussten die Anregung, d. h. also der Transportweg, und die Eigenschwingungen des Turbanschneckenpokals bekannt sein.

Die Schwingungsantwort des Turbanschneckenpokals auf die Schwingungsanregung während des Transports wurde hauptsächlich durch die Eigenformen mit den drei

3



Die Staatlichen Schlösser, Gärten und Kunstsammlungen Mecklenburg Vorpommern hüten eine kostbare Sammlung von Kunstwerken, deren Vielfalt die Epochen von der Antike bis zur Gegenwart widerspiegeln. Dazu gehören Gemälde, Skulpturen, Objekte der Moderne, Möbel, Münzen, kunsthandwerkliche Objekte sowie grafische Werke mit Kupferstichen, Drucken, Zeichnungen und Fotos. Jedes Jahr fragen zahlreiche Museen aus dem In- und Ausland an, ob sie in ihren geplanten Ausstellungen Werke aus dem eindrucksvollen Sammlungsbestand der SSGK MV präsentieren können, www.museum-schwerin.de

4



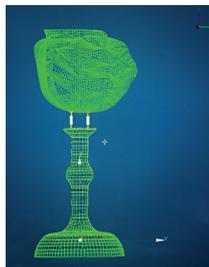
5



6



7



niedrigsten Eigenfrequenzen bestimmt. Die FEM-Analyse hatte auch ergeben, dass sich in den drei ersten Eigenformen lediglich das Oberteil des Pokals bewegte. Der massive Sockel blieb in Ruhe. Hieraus folgte, dass sich in den Knöcheln, als verbindende Elemente, die größten mechanischen Spannungen ausbildeten. Die Vermutung, dass es sich bei den Knöcheln um den am meisten gefährdeten Bereich handelte, konnte somit nachgewiesen werden.

Nachdem die Fragen bzgl. des Schwingungsverhaltens des Objektes geklärt waren, folgte die Erörterung des Transportweges. Der Turbanschneckenpokal musste im Schloss Güstrow mit seinen schmalen und steilen Treppen, den Steinfliesen und dem Kopfsteinpflaster auf dem Hof sowie in der Einfahrt abgeholt werden.

Fest stand auch, dass das Objekt von Schloss Güstrow zum Flughafen Frankfurt a. M. und in New York vom John F. Kennedy Airport zum MET mit einem luftgefederten LKW gebracht werden würde. Zu berücksichtigen war hierbei die unterschiedliche Auslegung der Luftfederung eines deutschen LKWs und eines US-amerikanischen Trucks.

Zur Debatte stand nun, ob der Pokal auf dem Sitz neben dem Kurier platziert oder auf einer Palette gemeinsam dicht an dicht mit anderen Kisten im Frachtraum des Flugzeugs von Frankfurt a. M. nach York reisen würde. Die Entscheidung hatte gravierende Auswirkungen auf das Design der Schutzverpackung und auch auf das erforderliche Verhalten des Kuriers. Im ersten Fall wäre die Schutzverpackung in Form eines Handkoffers gestaltet worden. Der Kurier hätte sich einem Lauftraining unterziehen müssen, um zu erlernen, wie der Handkoffer in Stresssituationen zu tragen ist, ohne den Pokal im Koffer zu stark zu beanspruchen. Im Juli 2019 – vier Monate vor dem geplanten Transport – stand fest, dass der Pokal auf einer Palette im Frachtraum eines Flugzeuges reisen würde. Dies bedeutete neben Start und Landung auch die Beförderung mittels Gabelstapler- und auf dem Rollband. Bekannt war auch, dass sich Hin- und Rückweg glichen.

Neben der Maßgabe der Schwingungsminderung und Schockabsorption musste auch sichergestellt werden, dass die Temperatur und die Luftfeuchte in unmittelbarer Nähe des Turbanschneckenpokals auf dem gesamten Transportweg konstant blieben. Insbesondere Messing und die sehr zarten Partien des Pokals reagierten sehr empfindlich auf eine Klimaveränderung.

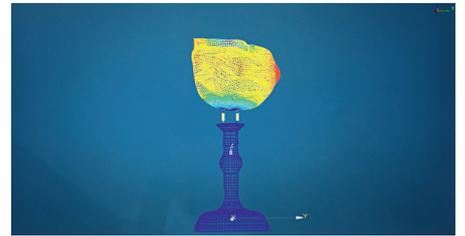
8



9



10

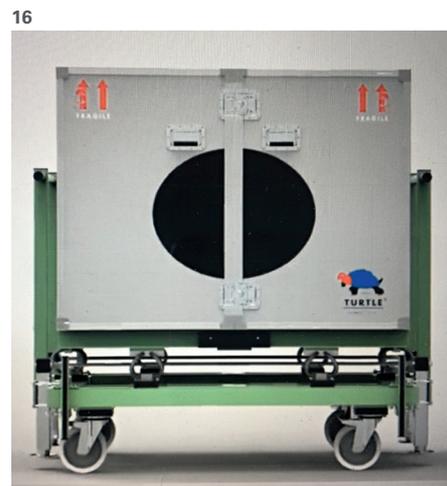
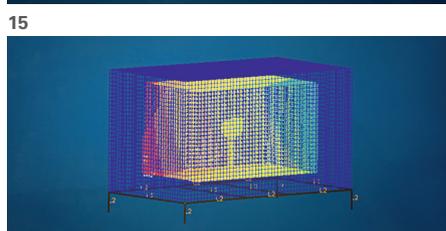
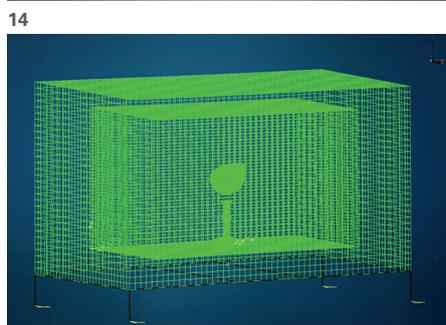
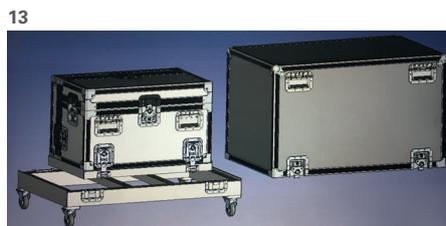


Die vielfältigen Umwelteinflüsse, denen der fragile Turbanschneckenpokal während seiner Reise ausgesetzt sein würde, ließen nur einen Schluss zu: sowohl schwingungs- als auch klimatechnisch musste der Pokal in einer auf ihn zugeschnittenen Mikroumgebung reisen. Diese konnte nur gewährleistet werden, indem das Objekt in einer Kiste transportiert wurde, die entsprechend dem neusten gebäudetechnischen Standard klimaisoliert war und sich echt schwingungsentkoppelt in einem eigenen Raum frei bewegen konnte. Diese Grundidee führte zu einem Kiste-in-Kiste-Aufbau, wobei die Innenkiste mit dem Objekt über Metallfedern an die Außenkiste gekoppelt wurde.

Dieses Grundkonzept wurde in einer Computer Aided Design (CAD)-Konstruktion mit dazu parallellaufender Finite Elemente-Modellierung umgesetzt.

Zur Optimierung der Schutzverpackung wurden in bestimmten Grenzen frei wählbare Parameter deklariert. Diese waren zum Beispiel die Positionen der Federn, die Federsteifigkeit, die geometrischen Abmessungen der Innenkiste und das verwendete Material. Aufgabe des Software-Optimierers war es dann, die Parameterkombination zu finden, bei der die geringsten dynamischen Belastungen des Turbanschneckenpokals auftraten.

Im nächsten Schritt musste die in Daten vorliegende Schutzverpackung gebaut werden. Da die Realität immer komplizierter als



die Modellwelt ist, war es sehr wichtig, mit einem Profi zusammenzuarbeiten – insbesondere, da es sich um eine Einfuhr in die USA handelte und dementsprechend bestimmte Richtlinien zu erfüllen waren. Die Realisierung des Vorhabens mit einem Tischler, wie bei dem vorigen Projekt, war hier also nicht mehr möglich. Um die Kosten im Rahmen zu halten, wurde nach einem bereits existierenden und bewährten Produkt gesucht, welches die Möglichkeit bot, Anpassungen so vorzunehmen, dass die berechneten Parameter erfüllt wurden.

Die Wahl fiel auf das Climate Cabinet des niederländischen Unternehmens TURTLE®, welches seit 25 Jahren für seine hochwertigen und nachhaltigen Gemäldetransportboxen bekannt ist.

Bei der Realisierung der Transportkiste auf der Basis des TURTLE® Climate Cabinet war eine Schutzverpackung auf Leichtlauf-PU-Rädern entstanden, die während der LKW-Fahrten und des Transports auf der Palette im Flugzeug auf Kufen aufgebockt wurde. Der äußere Mantel war eine abnehmbare Haube mit einem versenkbaren Trolleygriff. Diese Haube gewährleistete, dass dichtstehende Packstücke oder Bordwände das notwendige Schwingvolumen der Innenkiste nicht beeinträchtigten. Die ebenfalls einfach abnehmbare Innenkiste war während des Transportes auf einem schwingungsisolierten Aluminiumrahmen

montiert. Die Innenkiste konnte bei Bedarf getragen werden und war mit dem neusten Standard der passiven Klimaisolierung ausgestattet.

Ein letztes Detail betraf die Fixierung des Turbanschneckenpokals in der Innenkiste. Eine Ungeschicklichkeit in der Umsetzung der Lagerung hätte jede Bemühung in Bezug auf die Schwingungsminimierung zunichte gemacht. Außerdem sollte der Innenausbau nachhaltig sein. Dies bedeutete insbesondere die Vermeidung von Verpackungsmüll und die Wiederverwendbarkeit der Schutzverpackung für andere Objekte.

Im Ergebnis wurde der Innenraum in drei Bereiche geteilt. In dem mittleren Abteil wurde der Turbanschneckenpokal ohne Deckel mit Hilfe von angepassten Plastazoteschichten fixiert. Das mit einer Schutzhülle ummantelte Objekt wurde dabei so positioniert, dass dessen Schwerlinien mit denen der Innenkiste übereinstimmten. Der ebenfalls mit einer Schutzhülle versehene Deckel wurde auf gleiche Weise in einem der äußeren Abteile fixiert.

Der Aufwand für die Schutzverpackung und die Kurierbegleitung haben sich gelohnt. Im Gegensatz zu anderen Objekten ist der fragile Turbanschneckenpokal ohne weitere Schäden im März dieses Jahres wieder zuhause in Schwerin eingetroffen.

Prof. Dr. Kerstin Kracht, Katalin Baruth

3 Schloss Güstrow in Mecklenburg-Vorpommern

4-7 Model des Turbanschneckenpokals (ohne Deckel) mit Finiten Elementen zur Simulation des Schwingungsverhaltens

8 Eigenform, $f_1 = 7$ Hz
Seitenansicht, Nickbewegung des Oberteils

9 Eigenform, $f_2 = 13$ Hz
Vorderansicht, Nickbewegung des Oberteils

10 Eigenform, $f_3 = 30$ Hz
Vorderansicht, Torsionsbewegung „Neinsagen“ des Oberteils

11 Toreinfahrt zum Innenhof des Schlosses Güstrow

12 Palette mit Kunstwerken und Kulturgütern auf dem Kennedy-Airport New York

13 Computer Aided Design (CAD)-Konstruktion der Schutzverpackung

14 Model des Turbanschneckenpokals (ohne Deckel) in der Schutzverpackung mit Finiten Elementen zur Simulation des Schwingungsverhaltens des Gesamtsystem auf dem Transportweg

15 Momentaufnahme der Verschiebungen der Finiten Elemente während der Simulation des Transportweges

16 Climate Cabinet als Ausgangsbasis für die Realisierung der Transportkiste für den „Turbanschneckenpokal“

17 Kompakte Schutzverpackung für den Turbanschneckenpokal