

TRANSPORTSIMULATION MIT VERPACKUNGSOPTIMIERUNG

Joachim Cäsar, Fraunhofer ICT

Dipl.-Ing. Franz Josef Elsland, Thermo Haake GmbH

Zusammenfassung

Technische Anlagen sollen von Deutschland nach Asien transportiert werden. Die einzelnen 19“-Gestelle sind einer Transportsimulation zu unterziehen und die Wirksamkeit der Verpackung ist zu untersuchen.

Einleitung

Seit Jahrzehnten werden schon u. a. technische Güter auf der Straße, Schiene, Luft und oder auf dem Wasser, transportiert. Dabei variiert und kombiniert das Transportmittel und der -weg. Die Transportdauer und die daraus resultierenden Umwelteinflüsse sind genauso unterschiedlich wie die Güter selbst. Das hat zur Folge, dass einige Transporte unbeschadet durchgeführt werden können und andere nur mit entsprechenden Schäden. Um diese Schäden zu vermeiden, werden geeignete Verpackungen und Transportmaßnahmen präventiv eingesetzt. Dabei darf ein Transport den technischen und wirtschaftlichen Rahmen nicht sprengen, sondern muss den Gegebenheiten und den Anforderungen angepasst werden.

Aufgabenstellung

Der Hersteller von Temperiergeräten soll Anlagen (19“-Racks) nach Asien transportieren. Bei dieser Aufgabenstellung sind laut Pflichtenheft die Umwelteinflüsse nach EN 60721-3-2 vorgegeben worden. Außerdem existierten bereits Angaben über den Transport:

- Transportmittel (LKW und Flugzeug)
- Transportweg
- Transportdauer

Die Verpackung sollte von einer externen Firma entwickelt und bereitgestellt werden.

Im ersten Prüfabschnitt ist das Vibrationsverhalten der Temperieranlage zu untersuchen, um gegebenenfalls konstruktive Korrekturmaßnahmen vor der eigentlichen Transportsimulation einzuleiten. Anschließend ist dann die Wirksamkeit der Verpackung während der Transportsimulation zu untersuchen.

Prüfparameter

Im Pflichtenheft wurden die nachstehenden Angaben gelistet:

Klassifizierung von mechanischen Umweltbedingungen:	2M3
Klassifizierung von klimatischen Umweltbedingungen:	2K3
Klassifizierung von biologischen Umweltbedingungen:	2B1
Klassifizierung von chemisch-aktiven Stoffen:	2C1

Mit dem Auftraggeber wurde folgende Vorgehensweise besprochen:

1. Visuelle Begutachtung der Anlage mit Abklärung von sichtbaren Schwachstellen.

2. Resonanzsuche am Prüfling auf einer 3-Achsen-Vibrationsanlage. Eventuelle konstruktive Nachbesserung durch den Auftraggeber.
3. Resonanzsuche am Prüfling mit Verpackung auf einer 3-Achsen-Vibrations-Anlage.
4. Transportsimulation am Prüfling mit Verpackung auf einer 3-Achsen-Vibrations-Anlage. Anregung Rauschen und Schock Halbsinus.

Bei der vorgestellten Untersuchung beschränkt sich der Prüfaufwand auf die Transportsimulation, sodass nur die Angaben der Klassifizierung von mechanischen Umweltbedingungen 2M3 nach EN 60721-3-2 von Bedeutung sind.

Im Einzelnen wurden folgende Daten angegeben und von uns als Vorschlag für die Untersuchung in allen drei Raumachsen ergänzt:

Angaben nach 2M3 nach EN 60721-3-2

Sinusförmige Schwingungen

Amplitude der Auslenkung:	7,5 mm		
Amplitude der Beschleunigung:		20 m/s ²	40 m/s ²
Frequenzbereich:	2-8 Hz	8-200 Hz	200-500 Hz

Stöße, Halbsinus

Gesamt-Schock-Antwortspektrum Typ I

Spitzenbeschleunigung a:	300 m / s ²
Dauer:	11 ms

Rauschförmige Schwingungen

Spektrale Beschleunigungsdichte:	3 m ² /s ²	1 m/s ²
Frequenzbereich:	10-200 Hz	200-2000 Hz

Die nachfolgenden Angaben für alle drei Raumachsen wurden von uns ergänzt:

Z-Achse:

Rauschförmige Schwingungen

Spektrale Beschleunigungsdichte: 3 m²/s² 1 m/s²

Frequenzbereich: 10-200 Hz 200-2000 Hz

X-Achse:

Rauschförmige Schwingungen

Spektrale Beschleunigungsdichte: 0,6 m²/s² 0,4 m/s²

Frequenzbereich: 10-200 Hz 200-2000 Hz

Y-Achse:

Rauschförmige Schwingungen

Spektrale Beschleunigungsdichte: 0,6 m²/s² 0,4 m/s²

Frequenzbereich: 10-200 Hz 200-2000 Hz

Stöße, Halbsinus

Spitzenbeschleunigung a: 300 m / s²

Dauer: 18 ms (siehe DIN IEC 68-2-27)

Anzahl der Stöße: je 2 pos. und neg. Stöße in allen drei Raumachsen

Zu1 Visuelle Begutachtung der Anlage mit Abklärung von sichtbaren Schwachstellen.

Bei der zu untersuchenden Anlage handelte es sich um ein 19“-Rack mit den Abmessungen 600 mm x 1000 mm x 2000 mm (b x t x h) und einem Gesamtgewicht von ca. 330 kg.

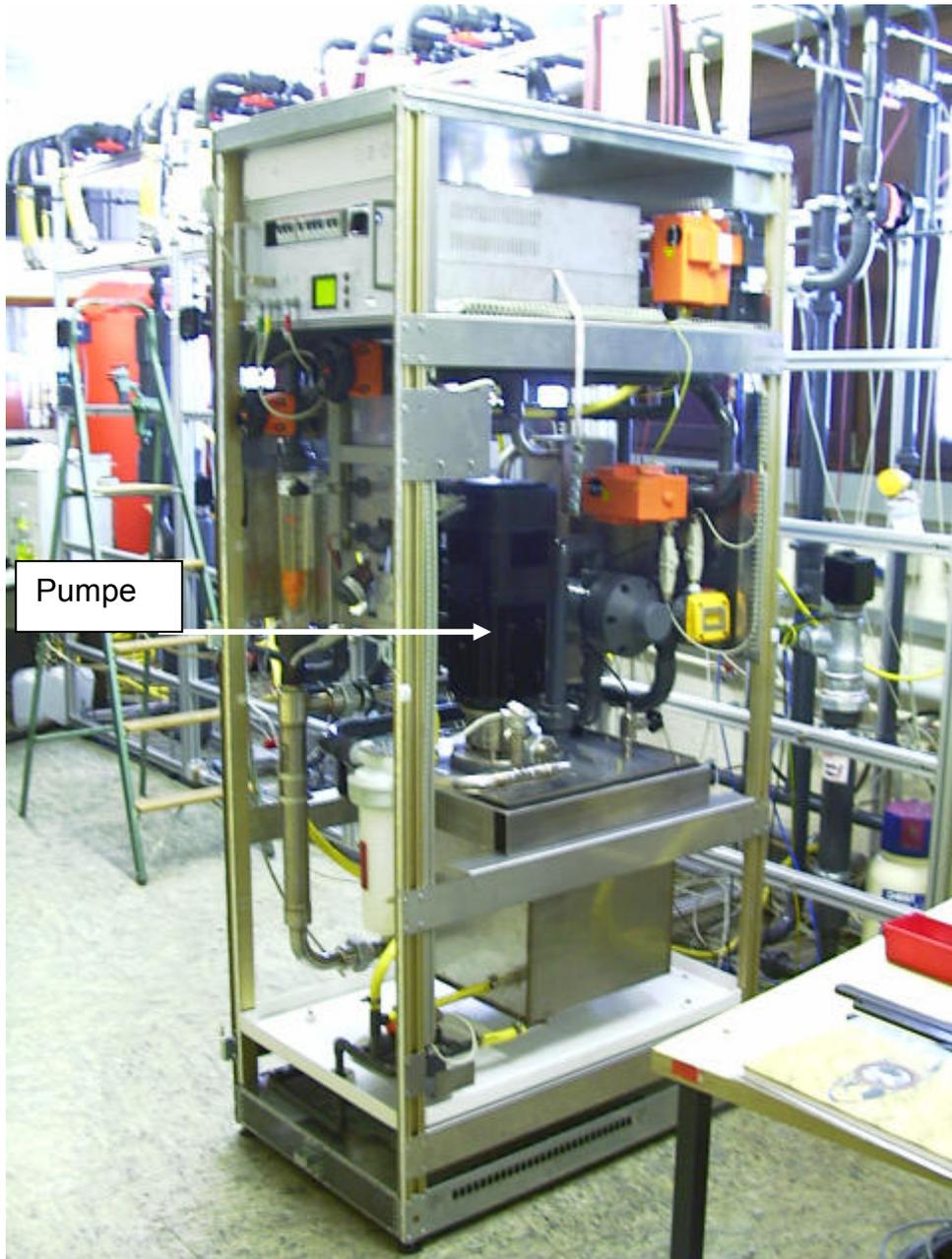


Bild 1 Anlage ohne Blechverkleidungen

Der Grundrahmen hat an der Hinterseite zwei feste Rollen und an der Vorderseite zwei feste höhenverstellbare Füße, sowie eine Aufnahme für eine Transportdeichsel mit Rollen.

Auffallend ist in der Mitte die große Pumpe mit einem Gewicht von ca. 53 kg und das Elektronik-Rack, im oberen Teil, mit ca. 25 kg. Somit sind die Schwerpunkte ersichtlich.

Dem Auftraggeber konnten folgende Punkte zur präventiven Konstruktionsänderung vor der eigentlichen Resonanzsuche / Schwingungsuntersuchung aufgeführt werden:

- Pumpenbefestigung verstärken.
- Rohrleitungen zusätzlich mit Schellen / Befestigungen versehen
- Einige Bleche mit zusätzlichen Befestigungen und Versteifungen versehen.
- Stellmotor auf der Rückseite befestigen
- Rahmensteifigkeit erhöhen
- Rahmenschrauben M5 eventuell zu schwach (Scherfestigkeit)

**Zu 2 Resonanzsuche am Prüfling auf einer 3-Achsen-Vibrations-Anlage.
Eventuelle konstruktive Nachbesserung durch den Auftraggeber.**

Die Resonanzuntersuchung wurde auf einem elektrodynamischen Schwingerer mit Gleittisch in der Anregungsart Sinussweep mit einem Frequenzbereich von 5 Hz bis 500 Hz durchgeführt. Dazu wurde die Anlage ohne Verpackungspalette direkt auf den Schwingerer befestigt. Zur Ermittlung der Resonanzfrequenzen an den kritischen Bauteilen wurden 7 Beschleunigungsaufnehmer montiert.

Zuerst wurde die Z-Achse (vertikale Anregung) ohne Palette untersucht:

Nr.: 1: Durchflussmesser	Meßsignal horizontal
Nr.: 2 Controller Frontseite	Meßsignal horizontal
Nr.: 3 Heizer	Meßsignal horizontal
Nr.: 4 Filter	Meßsignal horizontal
Nr.: 5 Stellmotor 3/2	Meßsignal vertikal
Nr.: 6 Controller Rückseite	Meßsignal vertikal
Nr.: 7 Pumpe	Meßsignal horizontal



Bild 2 Anlage auf Shaker Z-Achse

Anschließend wurde die Transportpalette einer externen Verpackungsfirma mit dem Prüfling auf die Vibrationsanlage montiert.

Die Palette bestand aus einer Grundplatte (Schichtholz) und einer Deckplatte (Schichtholz), sowie den dazwischen stehenden Kunststoffdämpfern (18 Stück). Diese Grundpalette sollte den Hauptteil der auftretenden Schwingungen absorbieren. Beim ersten Versuchslauf hatten die Kunststoffdämpfer eine Härte von 60 Shore.

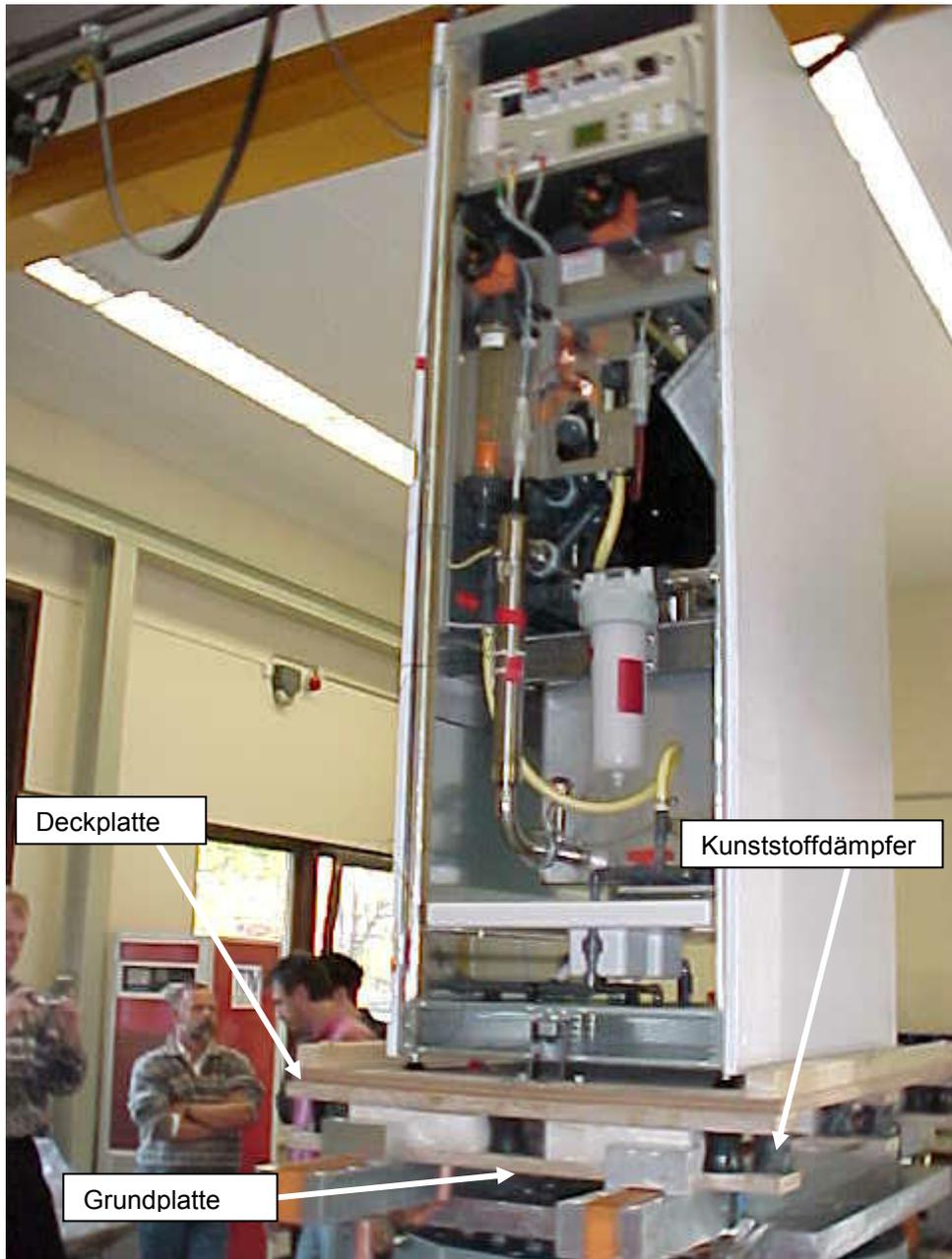


Bild 3 Z-Achse, mit Palette und Kunststoffdämpfern

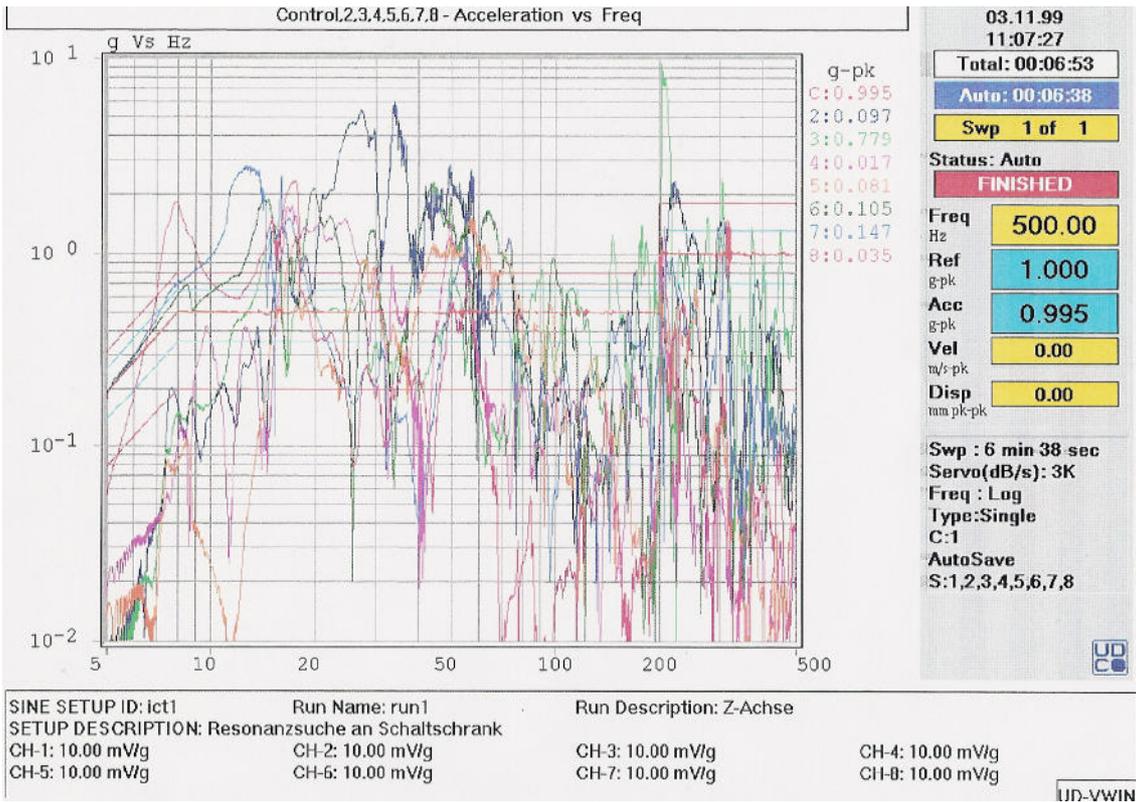


Bild 4 Resonanzsuche, Anlage ohne Palette

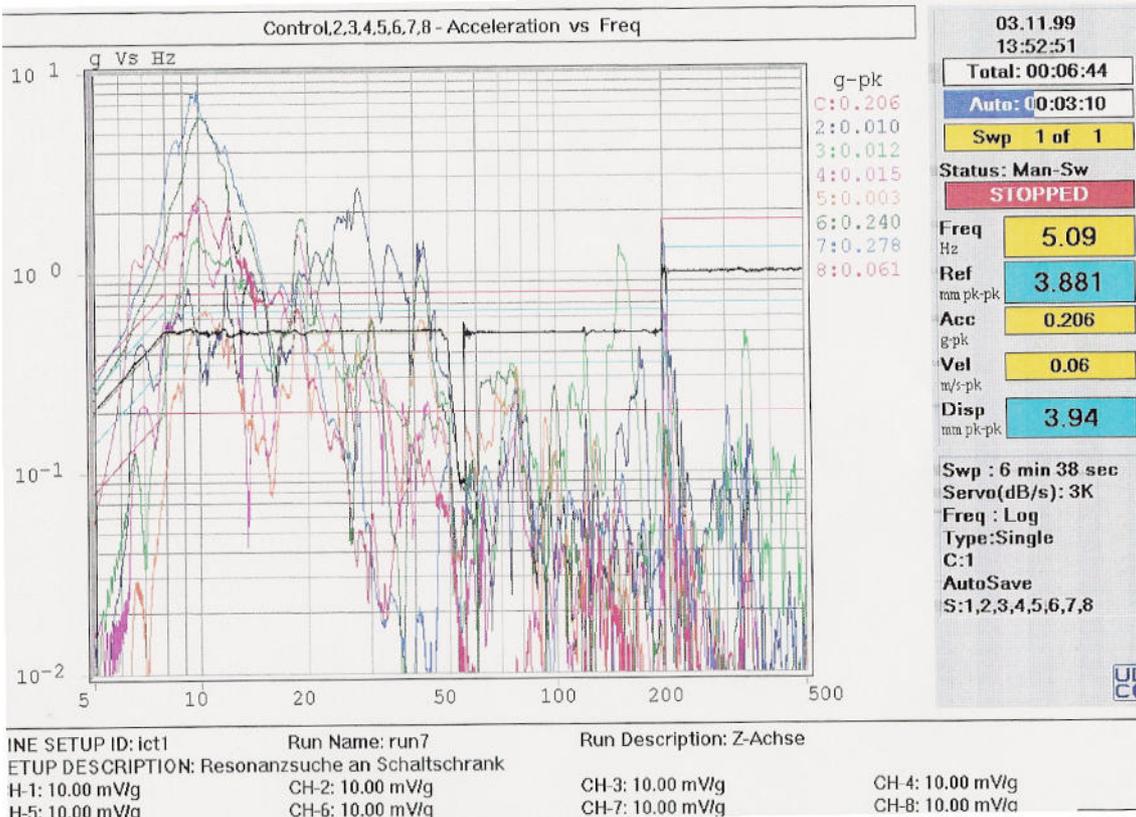


Bild 5 Resonanzsuche mit Palette, Dämpfer 60 Shore

Insgesamt wurden drei verschiedene Untersuchungen mit folgenden Dämpfern durchgeführt:

18 Stück Dämpfer 60 Shore,

18 Stück Dämpfer 70 Shore

18 Stück Dämpfer 45 Shore

Im Allgemeinen kann über die Palette ausgesagt werden, dass die Dämpfungseigenschaften ungenügend sind. Im unteren Frequenzbereich ist eine Verstärkung der Anregung zu erkennen. Das Variieren der Dämpferhärte hatte ebenfalls keinen nennenswerten Einfluss auf die Qualität der Palette. Lediglich das Frequenzverhalten hat sich dadurch verschoben. Außerdem ist die Querempfindlichkeit der Palette zu groß, d. h. der Prüfling nickt nach den Seiten.

Auch die Verringerung der Dämpferanzahl von 18 Dämpfer auf 10 Dämpfer blieb ohne große Wirkung.

Zuletzt erfolgte noch eine Schockprüfung mit 10 Dämpfern 45 Shore, 30 g und 18 ms. Als Antwortimpuls wurden Beschleunigungen z. B. an der Pumpe und an dem Elektronik-Rack von 100 g gemessen.

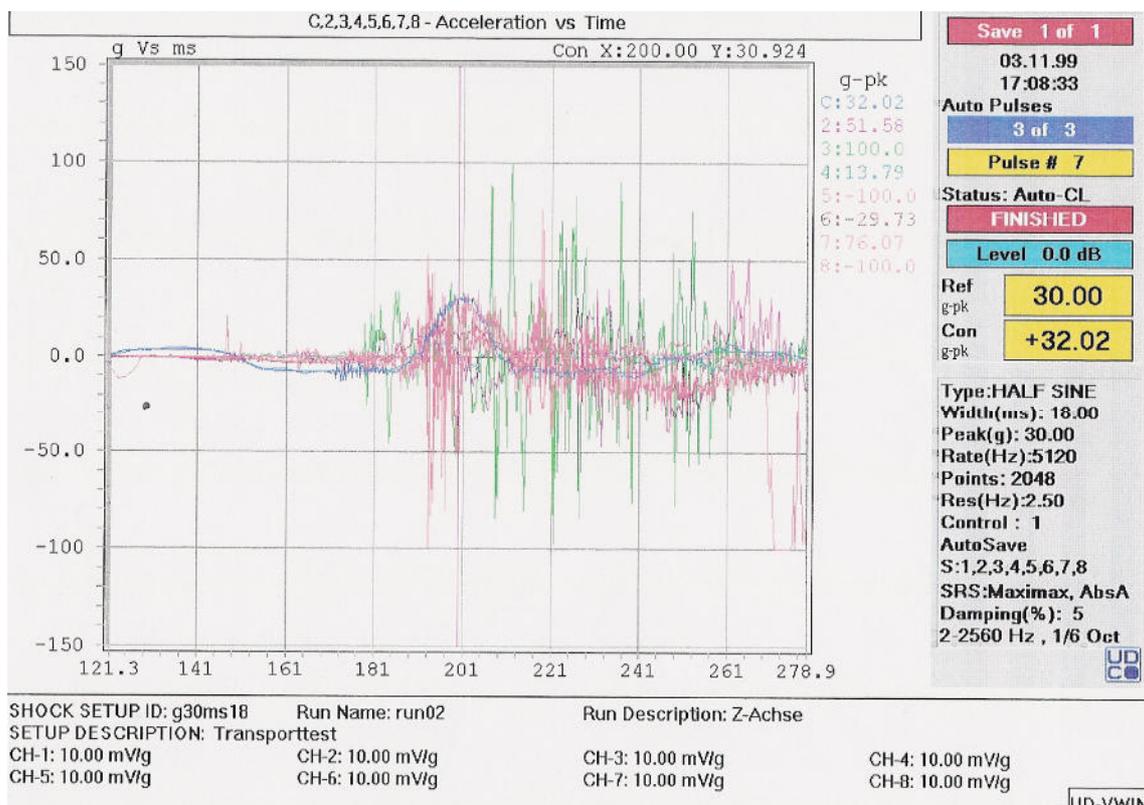


Bild 6 Schockprüfung Z-Achse mit 10 Dämpfern 45 Shore

Nach dem Schocktest waren zwei Dämpfer in der Mitte ausgerissen.

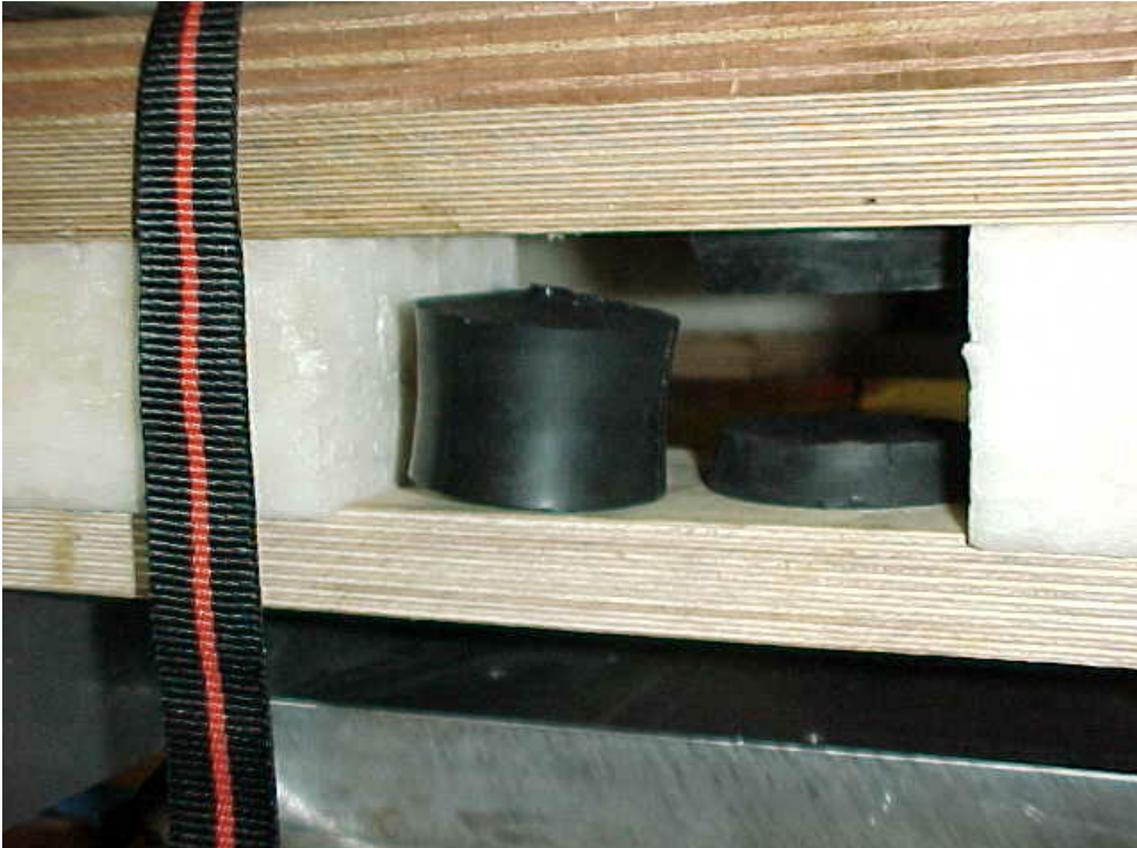


Bild 7 gerissener Dämpfer nach Schocktest

Die Verpackungsfirma konnte über das Frequenzverhalten der Palette bzw. über die Dämpfer keine Aussage machen.

Während der Prüfung haben sich außerdem verschiedene Verschraubungen gelöst und einige Schrauben herausgedreht.

Mit dem Konstrukteur wurden die einzelnen Ergebnisse, sowie die notwendigen Maßnahmen zur Abhilfe im Detail besprochen.

Zu 3 Resonanzsuche am Prüfling mit Verpackung auf einer 3-Achsen-Vibrations-Anlage.

Die gesamte Untersuchung wurde nach einiger Zeit wiederholt. An dem Prüfling wurden einige konstruktive Änderungen vorgenommen. Die Palette ist vom Auftraggeber neu konstruiert worden. Als Dämpfer kamen diesmal Luftfederdämp-

fer zum Einsatz, die eine Resonanzfrequenz <5 Hz haben. Ebenfalls wurde bei der Konstruktion der Palette die Querbeanspruchung berücksichtigt.

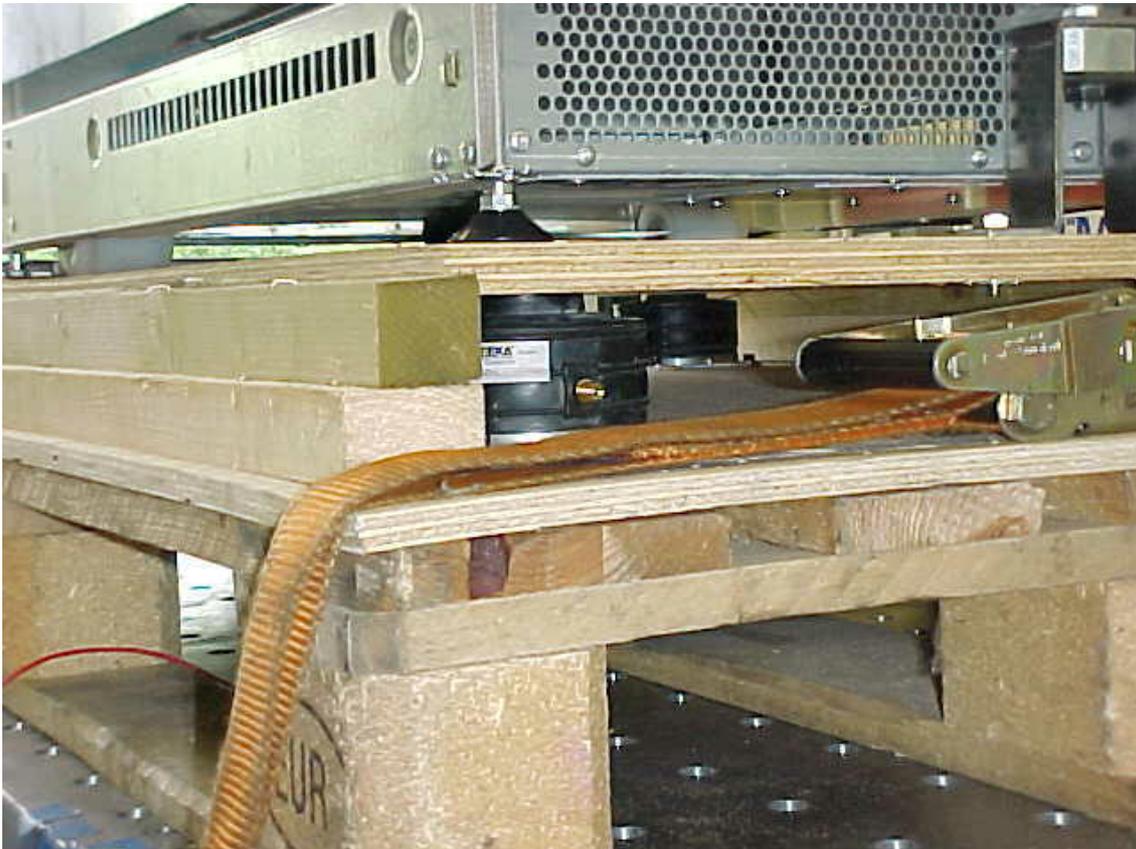


Bild 8 Modifizierte Palette mit 4 Luftfederdämpfer

Bei der Transportpalette in Bild 8 handelt es sich noch nicht um das Endprodukt, sondern lediglich um das Prüf-Handmuster.

Die modifizierte Anlage wurde wieder erst ohne Palette/Verpackung auf den Schwingerreger montiert und die Resonanzsuche mit Sinusanregung gestartet. Die Beschleunigungsaufnehmer wurden wieder an der gleichen Stelle wie beim ersten Prüfdurchlauf montiert und es wurde mit der Z-Achse (vertikal) begonnen.

Die konstruktiven Änderungen am Prüfling zeigten insgesamt eine Verbesserung des Resonanzverhaltens auf.

Als nächster Prüfabschnitt erfolgte die Resonanzuntersuchung der neuen Transportpalette mit den Luftfederdämpfern.

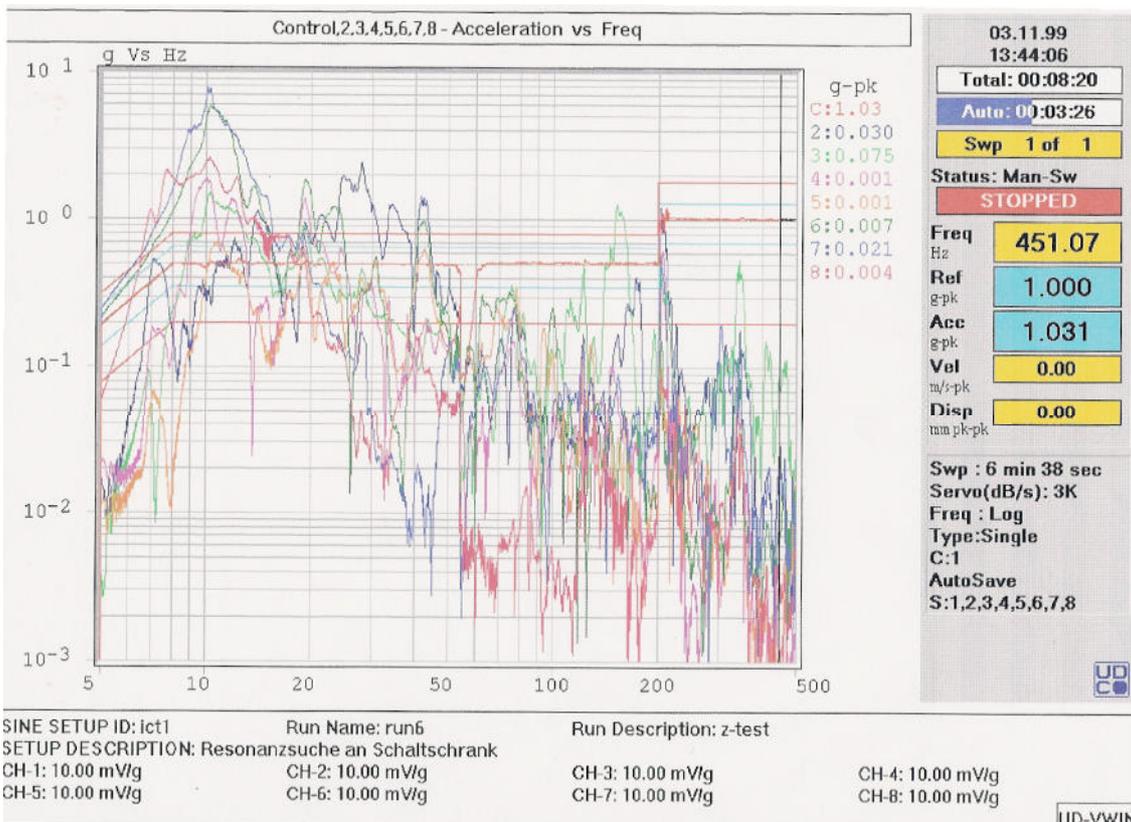


Bild 9 Resonanzsuche mit alter Palette Z-Achse, Dämpfer 60 Shore

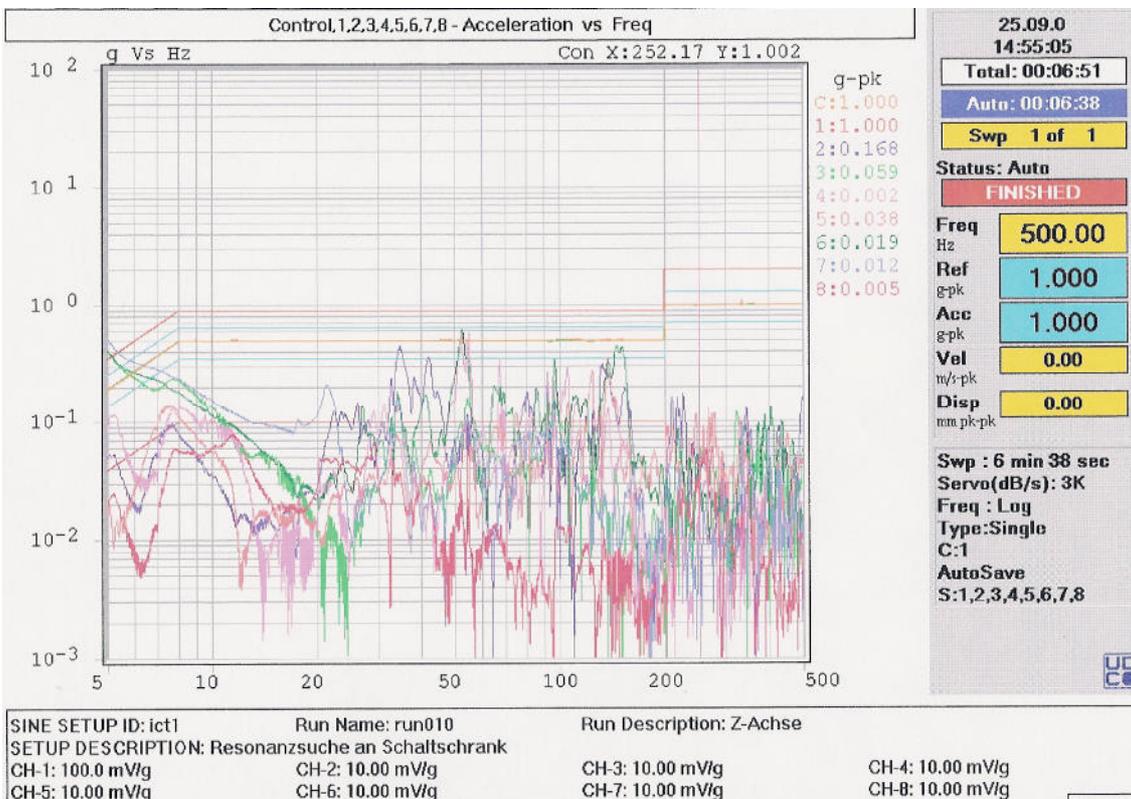


Bild 10 Resonanzsuche mit neuer Palette Z-Achse, Luftfederdämpfer

In den Bildern 9 und 10 sind im Vergleich die beiden Transportpaletten zu sehen. Die neue Palette mit den Luftfederdämpfern zeigt hervorragende Werte auf. Über das gesamte Frequenzspektrum ist eine deutliche Dämpfung zu sehen.

Auch die anschließenden Schockspektren zeigten das gleiche Ergebnis. Nach der Resonanzsuche und den Schocktests wurde aus Zeitgründen gleich die Rauschprüfung mit einer Dauer von 5 h in der Z-Achse durchgeführt.

Nun erfolgte der Umbau in die Horizontalachsen Y und X auf den Gleittisch mit der Resonanzuntersuchung ohne Palette.



Bild 11 Y-Achse ohne Transportpalette

Anschließend wurde wieder die Resonanz- und Schockuntersuchung mit der Palette in beiden Achsen durchgeführt. Auch hier bewiesen die Luftfederdämpfer ihre hervorragenden Dämpfungseigenschaften. Nach den Schocktests erfolgten dann die Rauschprüfungen.

Zu 4 Transportsimulation am Prüfling mit Verpackung auf einer 3-Achsen-Vibrations-Anlage. Anregung Rauschen und Schock Halbsinus.

Bei den Rauschprüfungen und auch schon bei den Resonanzuntersuchungen wurde die gesamte Holztransportverpackung angebracht. Auf die Transportpalette mit den Luftfedern wurden Seitenwände angeschraubt. Über das Prüfgestell wurde eine Plane gezogen um Lackschäden zu vermeiden. Im oberen Kantenbereich wurden noch Schaumteile zur Abstützung eingeschoben (Bild 12).

Nach der visuellen Kontrolle der gesamten Transportsimulation und der Funktionsprüfung beim Auftraggeber konnten keine Beschädigungen an der Anlage festgestellt werden.

Die Verpackung wurde im Anschluss unserer Untersuchungen noch optimiert.



Bild 12 X-Achse mit Transportpalette und Seitenteilen



Bild 13 X-Achse, Ansicht der gesamten Verpackung