

Vibrations- und Schockprüfungen

Treo – Labor für Umweltsimulation GmbH, 15.04.2025



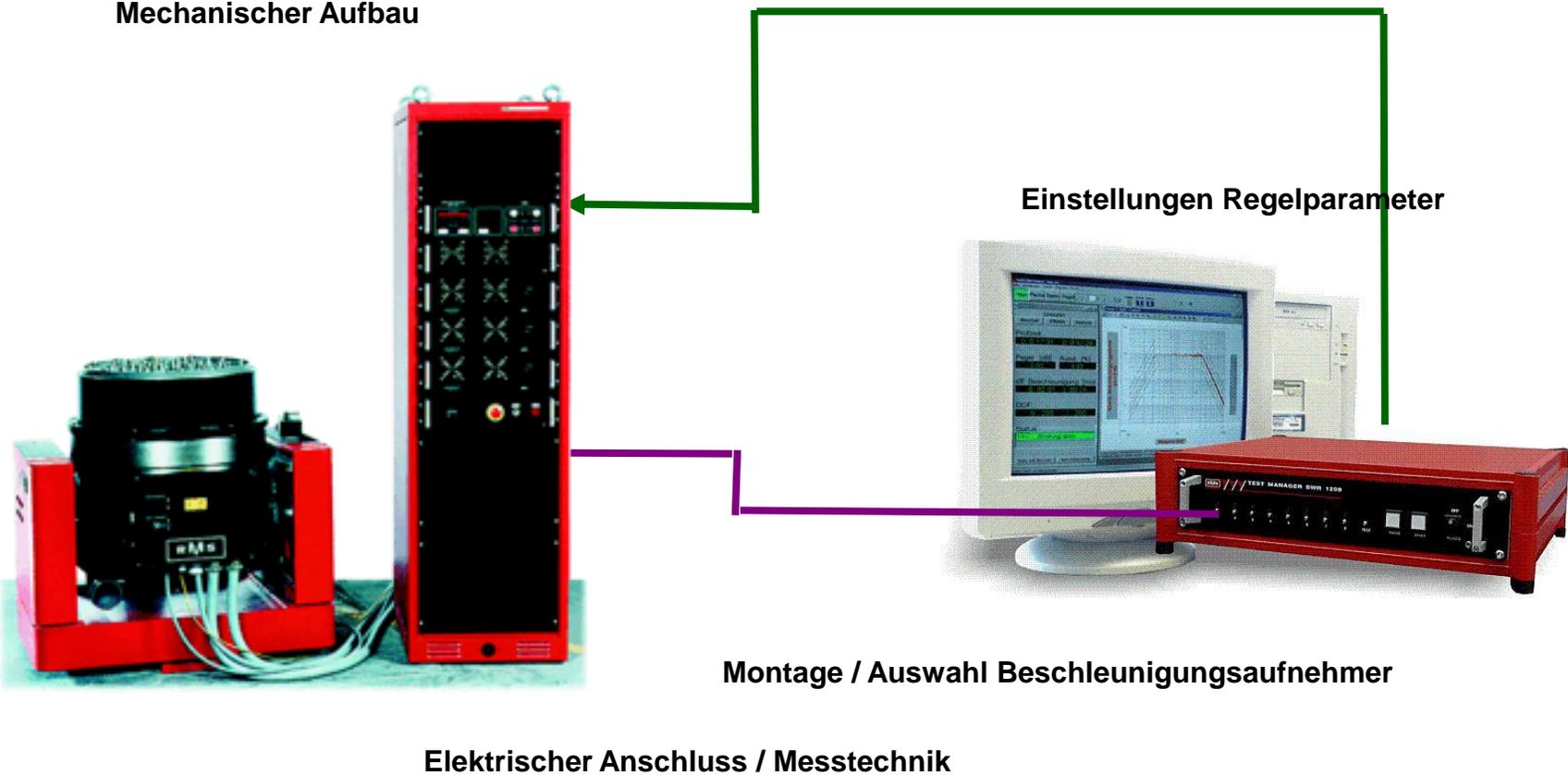
Warum werden Vibrations- und Schockprüfungen durchgeführt?

- Aufspüren von Schwachstellen und konstruktiven Mängeln (Design, Material)
- Reklamations- und Rückrufkosten einsparen
- Transportsicherheit gewährleisten / Verpackungskosten reduzieren
- Lebensdauerprüfungen
- Verkürzen von Entwicklungszeiten
- Fertigungsnahe Qualitätskontrolle
- Simulation der Einsatzbedingungen / Lebenszeitbelastung (Umweltsimulation)
- Hohe Zuverlässigkeit ist das beste Verkaufsargument
- Oder einfach: „Der Kunde braucht das“

Übersicht über Schwingprüfanlagen

- Elektrodynamische Schwingprüfanlagen (Shaker)
 - Mit Gleittisch oder ohne
 - Verschiedene Anregungsarten bei Vibration (Sinus, Rauschen und Kombinationen) und Schock (Sägezahn, Halbsinus, Trapez usw.)
 - Frequenzbereich von wenigen Hz bis 2-3kHz
 - Wegamplituden von 1 bis 4 Zoll (p-p)
 - Kraftvektoren von wenigen kN bis mehrere hundert kN
- Falltische (Schockprüfung), pneumatisch oder hydraulisch
 - Einachsige Belastung
 - Fallhöhe bestimmt Schockdauer
 - Schockform üblicherweise Halbsinus, andere nur mit erheblichem Aufwand
- Es gibt außerdem
 - Servohydraulische Schwingprüfanlagen
 - Piezoelektrische Schwingerreger
 - Akustische Schwingerreger
 - Mechanische Unwuchterreger
 - ...

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker)



Quelle: Regelungs- und Messtechnik Dipl.-Ing. Schaefer GmbH & Co. KG

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker)

- Gleittisch ermöglicht Prüfung aller Achsen (x, y, z) in Einbaulage
- Nachteile:
 - Umbauaufwand, insbesondere bei größeren Anlagen
 - Gewicht des Gleittisches muss mit bewegt werden => payload Reduzierung

Aufspannvorrichtungen

Aufspannvorrichtungen dienen der Kraftübertragung zwischen Armatur des Schwingerregers und des Prüflings.

Anforderungen an Aufspannvorrichtungen sind:

- Resonanzfrei für den notwendigen Frequenzbereich
- möglichst hohe dynamische Steifigkeit
- möglichst geringes Gewicht / Schwerpunktoptimierung
- möglichst geringe Größe / einfache Formgebung
- kostengünstig
- Vielseitig verwendbar



Headexpander



Winkel



geführte
Schwerlastplattform



Prüfwürfel

Quelle: Regelungs- und Messtechnik Dipl.-Ing. Schaefer GmbH & Co. KG

Testadaptionen

Ziel der Testadaption bei Vibrations- und Schockprüfungen ist es, den Prüfling einerseits so auf der Prüfanlage zu befestigen, wie er in der Realität auch befestigt wird, andererseits darf die Prüfadaption selbst das Prüfergebnis möglichst wenig beeinflussen.

- Die Prüfadaption wird über ein Lochraster an der Aufspannvorrichtung/dem Gleittisch befestigt
- Als Material sollten bevorzugt Platten aus ALMG Si F 28 oder EN AW 6082 verwendet werden.
- Die Platten sollten mindestens 25 mm dick sein.
- Wenn die Platten miteinander verschraubt werden müssen, z.B. um einen Winkel herzustellen, sollten Schrauben der Festigkeit 10.9 und mindestens der Größe M8 verwendet werden.
- Der Aufbau soll möglichst kompakt konstruiert sein, so dass möglichst keine freien Überhänge entstehen und die Adaption nicht zu schwer wird.
- Die Flächen, die an die Prüfanlage geschraubt werden, müssen verzugsfrei und plangefräst sein.
- Die Kraft muss über die Prüflingsbefestigung eingeleitet werden, so dass gemäß dem zu erwartenden Kraftfluss konstruiert werden sollte.
- Es kann trotzdem immer noch vorkommen, dass bei einer bestehenden Testadaption Optimierungen hinsichtlich des Schwingverhaltens notwendig sind, um den Test starten zu können.

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker), Anregungsarten

Empfohlenes Prüfverfahren entsprechend IEC 60068		Mixed Mode Teil 2-80	Rauschen Teil 2-64	Sinus Teil 2-6
Art der Schwingensignale für die Prüfung		Rauschen + sinusförmig	Rauschen	Sinusförmig
Schwingungs- umgebung des Prüflings	Lagerung		X	
	Nicht ortsfeste Anwendung		X	
	Transport		X	
Eingebaute Prüflinge in	Gebäud/ortsfeste Anwendung		X	
	Gebäude an oder nahe bei rotierenden Maschinen und deren Teile			X
	Eisenbahn- und Straßenfahrzeugen		X	
	Prüflinge, befestigt auf oder nahe an Maschinen	X		
	Strahlflugzeug	X	X	
	Hubschraubern, Propellerflugzeug	X		
	Raumfahrzeugsystemen, Simulation quasistatischer Belastungen ^{a)}			X
	Bauteilen für Raumfahrzeuge		X	
	Schiffen, durch Schiffsschraube angetrieben	X		
Schiffen, mit Strahlantrieb		X		
Abgeschätzte dynamische Bedingungen, Art des Signals	Rauschen + sinusförmig	X		
	Rauschen		X	
	sinusförmig			X
ANMERKUNG Zur Beschreibung von Klassen für dynamische Bedingungen siehe IEC 60721-3-0.				
^{a)} Eine geringe Anzahl von Zyklen einer sinusförmigen Anregung bei einer Frequenz deutlich unterhalb der ersten Eigenfrequenz des Prüflings simuliert eine lineare Beschleunigung (Start von Raumfahrzeugen).				

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker), Anregungsart Sinus

Gleitsinusprüfung, Sinussweep

- Üblicherweise logarithmischer Frequenzdurchlauf in Oktaven/min
 - Alle Eigenfrequenzen werden mit unterschiedlicher Zeit beansprucht
 - Die Anzahl der Lastwechsel ist gleich
 - Typisch 1 - 4 Oktaven/min

Wichtig: Damit sich die Amplitude einer Resonanzfrequenz maximal ausbilden kann, sollte diese langsam durchfahren werden.

Prüfung mit einer oder mehreren Festfrequenzen (z.B. auch Resonanzverweilen)

- Eine sinusförmige Beschleunigung mit einer Amplitude g_{peak} wirkt über eine definierte Zeitdauer mit einer Frequenz auf den Prüfling ein.
- Die Beschleunigung am Prüfling ist abhängig von dem Verhältnis Anregungsfrequenz zu Resonanzfrequenz und seiner Resonanzüberhöhung.
- Schrittsinus (stepped sine): Halten der Frequenz mit Übergang auf nächste Frequenz, Schrittweite Δf .

Prüfparameter:

- Beschleunigung oder Schwingweg [g; m/s²; mm], Frequenz [Hz], Zeitdauer [s; min; h; Lastwechsel]

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker), Anregungsart Rauschen

Rauschprüfung, Breitbandrauschen

- Beim Rauschen werden alle Frequenzen im Frequenzbereich f_u und f_o gleichzeitig angeregt, dadurch auch alle Eigenfrequenzen.
Rauschen ist nicht deterministisch und basiert auf statistischen Betrachtungen.

Prüfparameter:

- Leistungsdichte PSD
(Power Spectral Density) oder ASD g^2/Hz ($(m/s^2)^2/Hz$)
- Effektivwert $grms$ (m/s^2rms)
- Frequenzbereich f_u ; f_o , Stützstellen Hz
- Zeitdauer s, min, h
- Frequenzauflösung $df = \text{Bandbreite} / \text{Linienzahl}$
- Pegelstufen $-12, -6, 0 \text{ dB (typisch)}$
- Statistische Freiheitsgrade DOF 120 (typisch)
- (Drive) Clipping/Crest-Faktor/Sigma 3 (typisch)
- Linienprüfung Verletzung Warn- und Abbruchgrenzen

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker), überlagerte Anregungsarten

Anwendung SoR (Sine on Random)

- Motor- und Getriebeanbauteile Automobil
- Hubschrauber (SoRoR)
- Gunfire, Waffensimulation Kampfflugzeug und –hubschrauber

Anwendung RoR (Random on Random)

- Transportsimulation für Anbauteile, Munition in Panzern und kettengetriebenen Fahrzeugen

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker), Schock

Prüfungen mit klassischen Stoßformen

Als Prüfanregung dient ein Beschleunigungsstoß mit bekanntem Zeitverlauf.

- Der Prüfling wird mit kurzen Beschleunigungsstößen angeregt
- Alle schwingungsfähigen Gebilde im Prüfling werden angeregt
- Die Beschleunigung und die Anregungsfrequenzen werden durch das Stoßspektrum bestimmt

Schockzeitverläufe

- Halbsinus-Stoß
- Sägezahn-Stoß
- Dreieck-Stoß
- Trapez-Stoß
- Rechteck-Stoß

Elektrodynamische Prüfanlagen (Shaker), Schock

Prüfparameter

- Beschleunigung g ; m/s^2
- Impulsbreite ms
- Impulsform Halbsinus; Sägezahn; Trapez; Dreieck; Rechteck
- Warngrenzen IEC 60068, MIL-STD, ...
- Stoßrichtung positiv; negativ
- Anzahl der Stöße Zahl
- Wiederholrate Schocks/s

Zusammenhang Labortest und Realität (Gilt für nahezu alle Prüfbereiche der Umweltsimulation)

Einen direkten Zusammenhang zwischen Labortest und Realität gibt es in der Regel nicht.

Die Extraktion aus gemessenen Daten (z.B. Road Load) ist herausfordernd. Man muss genau wissen, was man tut.

Eine Zeitraffung durch Überhöhung ist möglich, führt aber oft auch zu unrealistischen Fehlerbildern.

Es gibt etablierte Prüfschärfen im Normenbereich von denen man weiß, dass sie funktionieren. Ein Beispiel für die iterative Normungsarbeit ist die DIN SPEC 79009 für EPAC.

Einen Bezug zur Realität findet man vor allem beim MIL-STD 810, der dies teilweise sehr genau beschreibt.