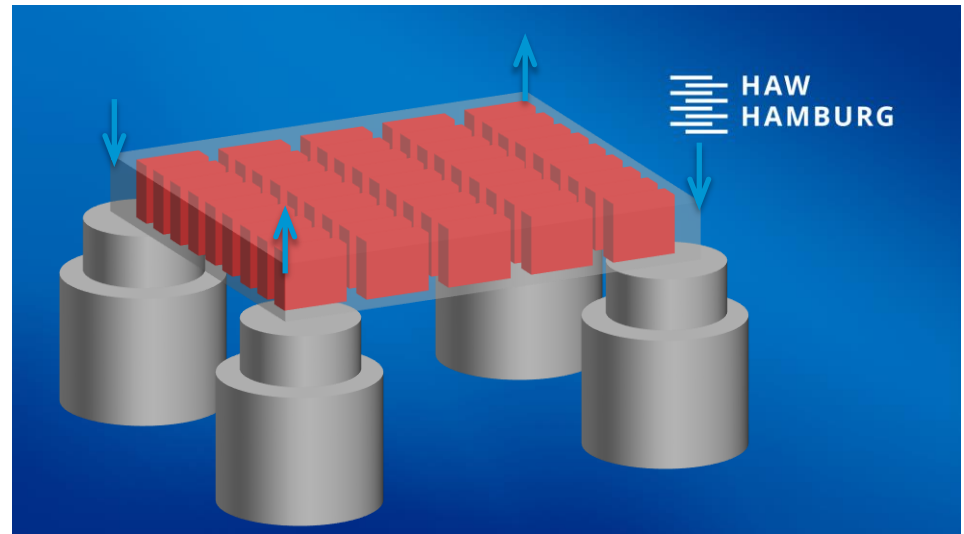


VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS VON BATTERIEELEKTRISCHEN FAHRZEUGEN

Prof. Dr.-Ing. Benedikt Plaumann
Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
Fakultät Technik und Informatik



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Research meets PBL

- Entwicklung eines nachhaltigen Battery Packs für das eigenentwickelte BEV des Departments HCC
- LiFePo - Kein Cobalt, kein Nickel, dafür etwas schwerer und größer
- Battery-Pack-Entwicklung als Project Based Learning im „Modul Mechatronisches Design“



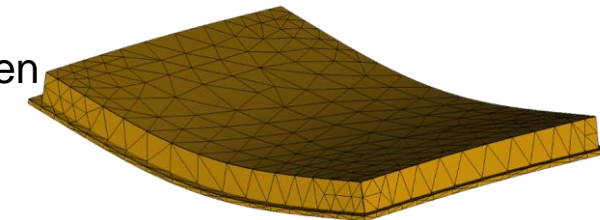
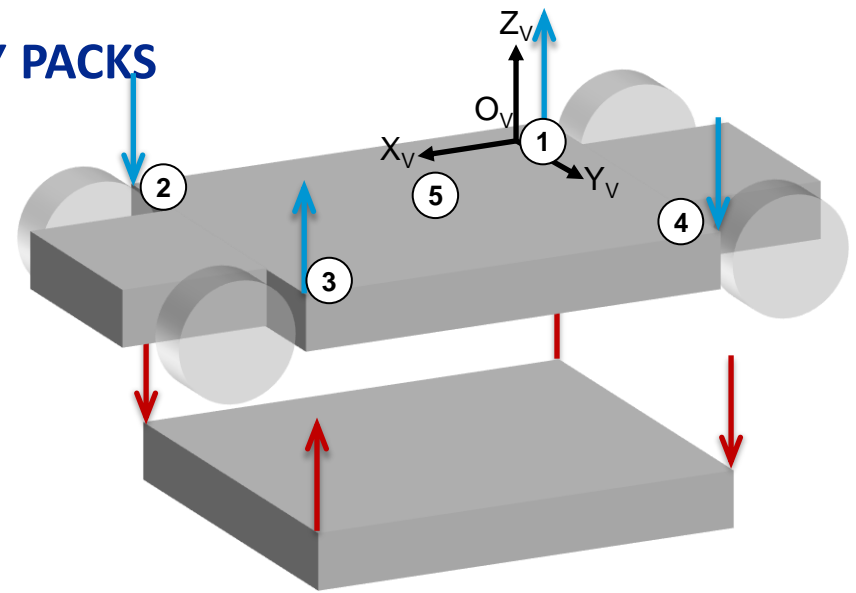
VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Elastomechanik und Versagen

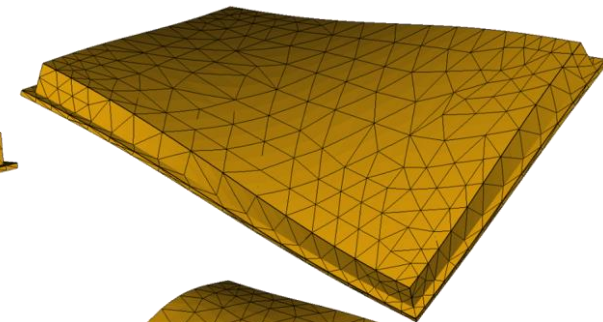
- Die überwiegende Anregung der Batterie kommt aus der Fahrzeug-Boden-Interaktion

Versagensarten, die einen Nachweis erfordern und das typische Verfahren

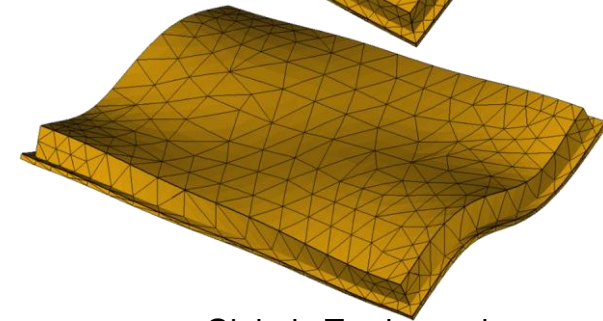
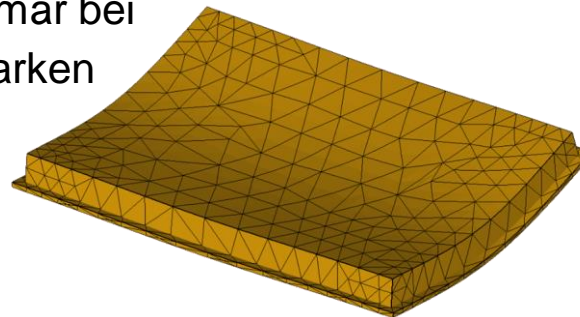
- Ermüdungsversagen unter stationären dynamischen Lasten
- Gewaltbruch unter transienten plötzlichen Schocks
- Ermüdungsversagen tritt primär bei Resonanzfrequenzen mit starken Überhöhungen auf.



Globale Biegung



Globale Torsion und lokale Eckverformung



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

statische und dynamische Torsion

In realen Messungen: dynamische Torsion und lokale Eckenverformung mit Resonanzen im Frequenzbereich 20 – 200 Hz, nicht nur Biegemoden

BMW i3 4th gen. battery in free-free (ohne Masse und Kopplung zum Fahrzeug): Erste globale Mode ist Torsion bei 60Hz

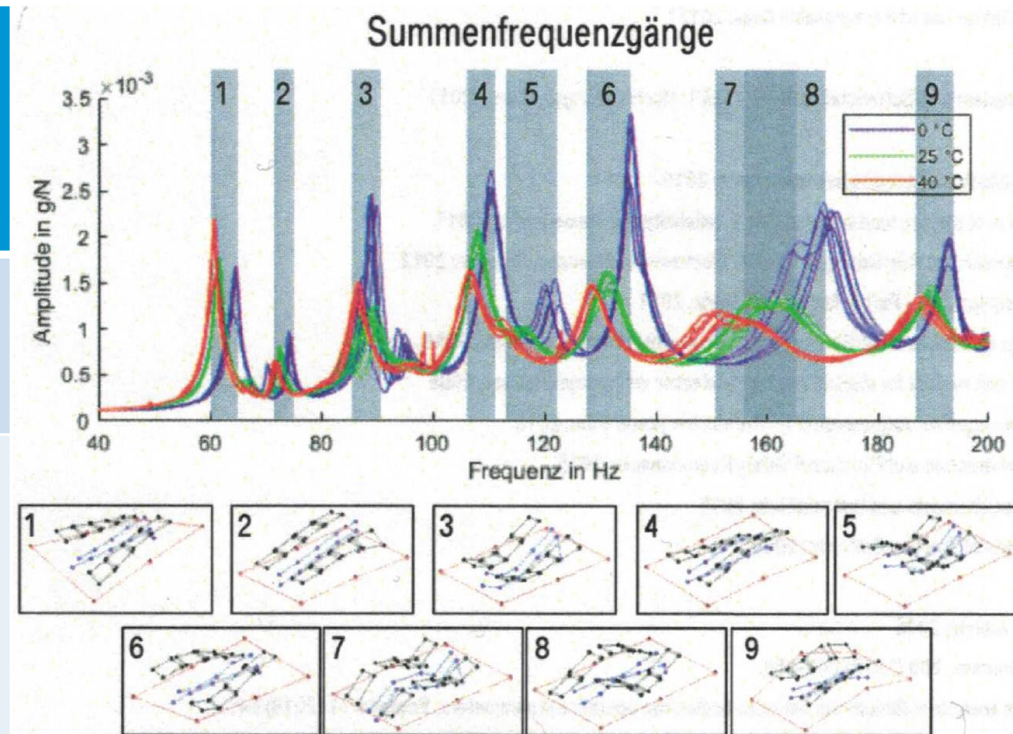
Statische Torsionsversuche bilden nicht die Realität ab, keine Verstärkung



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Vorstudie BMW i3

Vehicle	Compact BEV BMW i3 33kWh (94Ah) Retake coupled with vehicle	Battery BMW i3 later Gen 42,2kWh (120Ah) free – free (mean, variation)
Resonanzen Globale Biegung	c: 55Hz * c: 120Hz -	f3: 87,9Hz +/- 4,4% * f5: 116,8Hz +/- 8,3% f7: 157,7Hz +/- 12,7%
Resonanzen Torsion Lokale Eckbewegung	c: 21Hz (low) c: 40Hz (low) c: 70Hz c: 80 Hz * - c: 125Hz * c: 170Hz (low) -	- - f1: 62,0Hz +/- 8,7% * f2: 72,6Hz +/- 3,7% f4: 107,9Hz +/- 4,0% * f6: 131,7Hz +/- 5,2% * f8: 163,5Hz +/- 8,7% * f9: 190,1Hz +/- 3,0%



Vergleich mit Altmann et al. – Auswirkungen auf die Mechanik von Lithium-Ionen Batteriesystemen:
direkte Zuordnung nicht möglich wegen Kopplung von Steifigkeit und Masse des Fahrzeugs

*: detektierbar und starke Resonanzen

Temperatureinfluss nicht unerheblich!

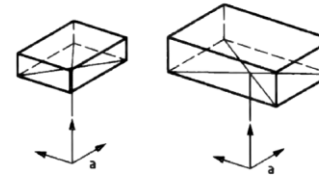
VIBRATIONSBEL. AUF BATTERY PACKS

ISO19453-6 2020

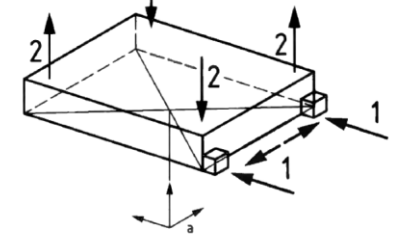
- für Cat 1 und 2 (klein/mittel, geringe Interaktion) eindeutige Prüfungen wie „Anbauteile“
- Aber wie sollen große Fahrzeugbatterien in Cat 3 (sehr große Masse, hohe Interaktion) getestet werden?
- Entwicklungsprozesse nach dem V-Modell benötigen Anforderungen für jede Komponentenumgebung
- MAST ist keine Mehrpunktanregung

B.2 Description of the different test cases

Category 1 and 2



Category 3



Key

- 1 suspension forces
- 2 global chassis deformation
- a Vibrational load.

Figure B.1 — Additional loads depending on DUT classification

Table 7 — Mechanical load

	Category 1	Category 2	Category 3
Test method	Uniaxial shaker in X, Y, Z-direction	Uniaxial shaker in X, Y, Z-direction or MAST	Uniaxial shaker in X, Y, Z-direction or MAST Additional loads, including but not limited to torsion and bending, if necessary.
Test profile	PSD profiles for category 1 or vehicle specific profiles	PSD profiles for category 2 or vehicle specific profiles	Vehicle specific profiles and testing time or vehicle specific time signals

**MAST
multiaxial simulation table**

multiaxial system to induce vibrations or shocks in all three axial dimensions to the DUT

ISO 19453-6 2020

ROADMAP “TOWARDS REALISTIC BEV BATTERY TESTING”

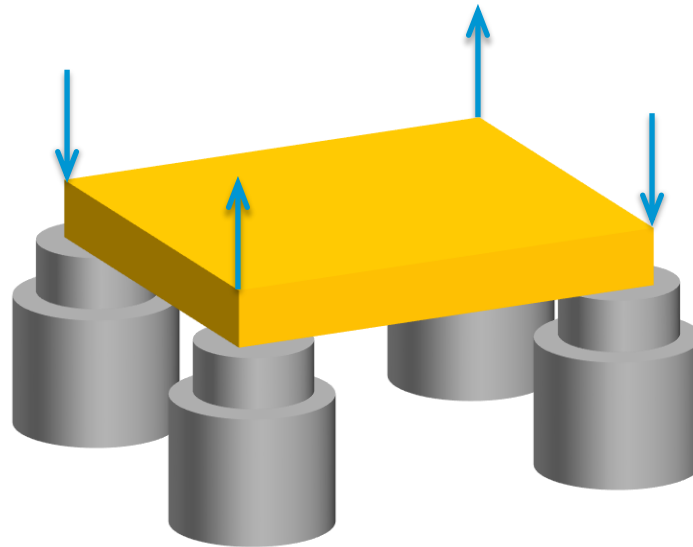


VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

An outlook on the requirements

Anregungsstrategie

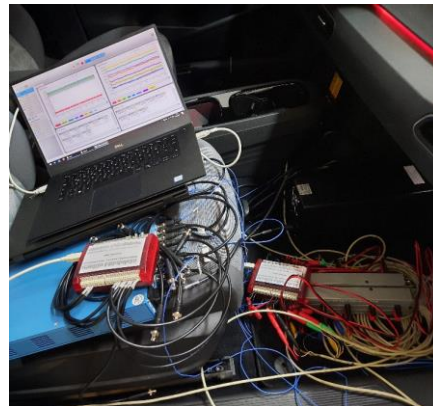
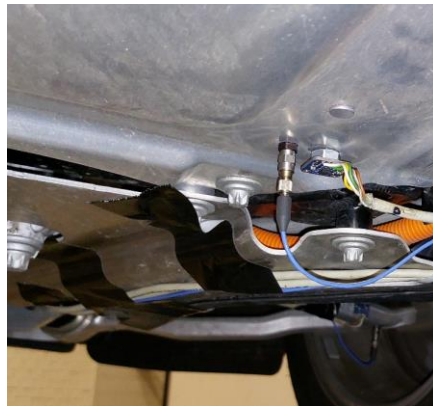
- 4 multi-point Anregung
- 4 Regelkanäle
- in Realität: Mittleres Level an Kohärenz und Relation zwischen Eckbewegungen; Kohärenz abhängig von Interaktion zwischen Fahrzeug und Batterie
- im Labortest: Kohärenz Teil der Regelung, aber beeinflusst von DUT und Schnittstellen
- siehe auch Plaumann, Benedikt: Towards realistic vibration testing of large floor batteries for battery electric vehicles (BEV), Sound and Vibration 56 (1), DOI: 10.48441/4427.431



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Vorstudien Messkampagne

Zur Erprobung der Anforderungen, Abläufe und Methoden für eine große Kampagne



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Analyse der vorläufigen Messkampagne

Dimensionen der vorläufigen Analyse

sensor types

- ICP sensors
- MEMS sensors

grounds

- Motorway /smooth tarmac
- cobble stone
- rough cobble stone

vehicles

- BMW i3
- VW ID3
- VW T5
- EVUM A-Car

loading

- empty
- loaded

Bislang nicht betrachtet, aber zukünftig interessant

sensor locations

- 5 measurement points on battery

consistency in each measurement

- 10 time segments of a measurement file

Faculty of Engineering and Computer Science

Department Automotive and Aeronautical Engineering

Prof. Dr.-Ing. Benedikt Plaumann

VIBRATIONSBELASTUNGEN

Wir benötigen eine Datenbasis für BEVs...

Hier: BEV Structural dynamics BMW i3 retake

- ICP Sensoren
- MEMS Sensoren



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Feedback Messtechnik

MEMS tri-axial Beschleunigungssensoren mit Analogausgang 0 – 3V
Analog Devices ADXL 326: +/- 16 gn

IEPE one-axial piezo Beschleunigungssensor mit Ladungsverstärker
PCB M353B18 +/- 500gn at 10mV/gn (ICP)
PCB-483C05 AC Konstantstromquelle mit AC-Kopplung

Meilhaus Readlab, rebranded Measurement Computing (MCC)
1608G mit 16bit auf 16 Analogeingängen +/- 1 bis 10V, 250kS/s
Abtastrate pro Kanal 15kHz



Aktuell mehrere Arbeiten zur Analyse der Datenqualität

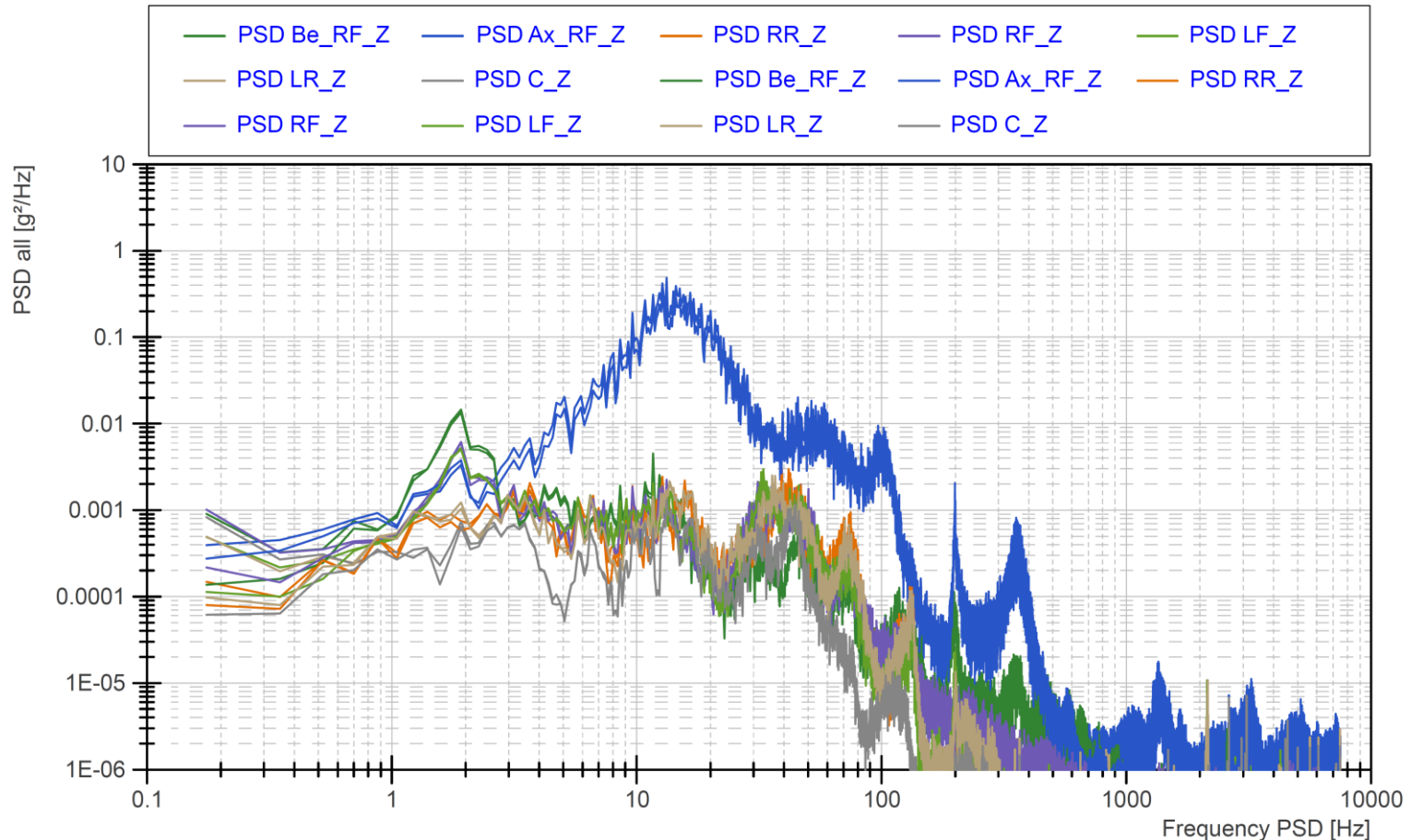


VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Feedback Messtechnik

Grundsätzlich sehr konsistente und gut vergleichbare Ergebnisse von ICP und MEMS, wenn bei den MEMS der auf dem Board vorhandene Tiefpass entfernt wird.

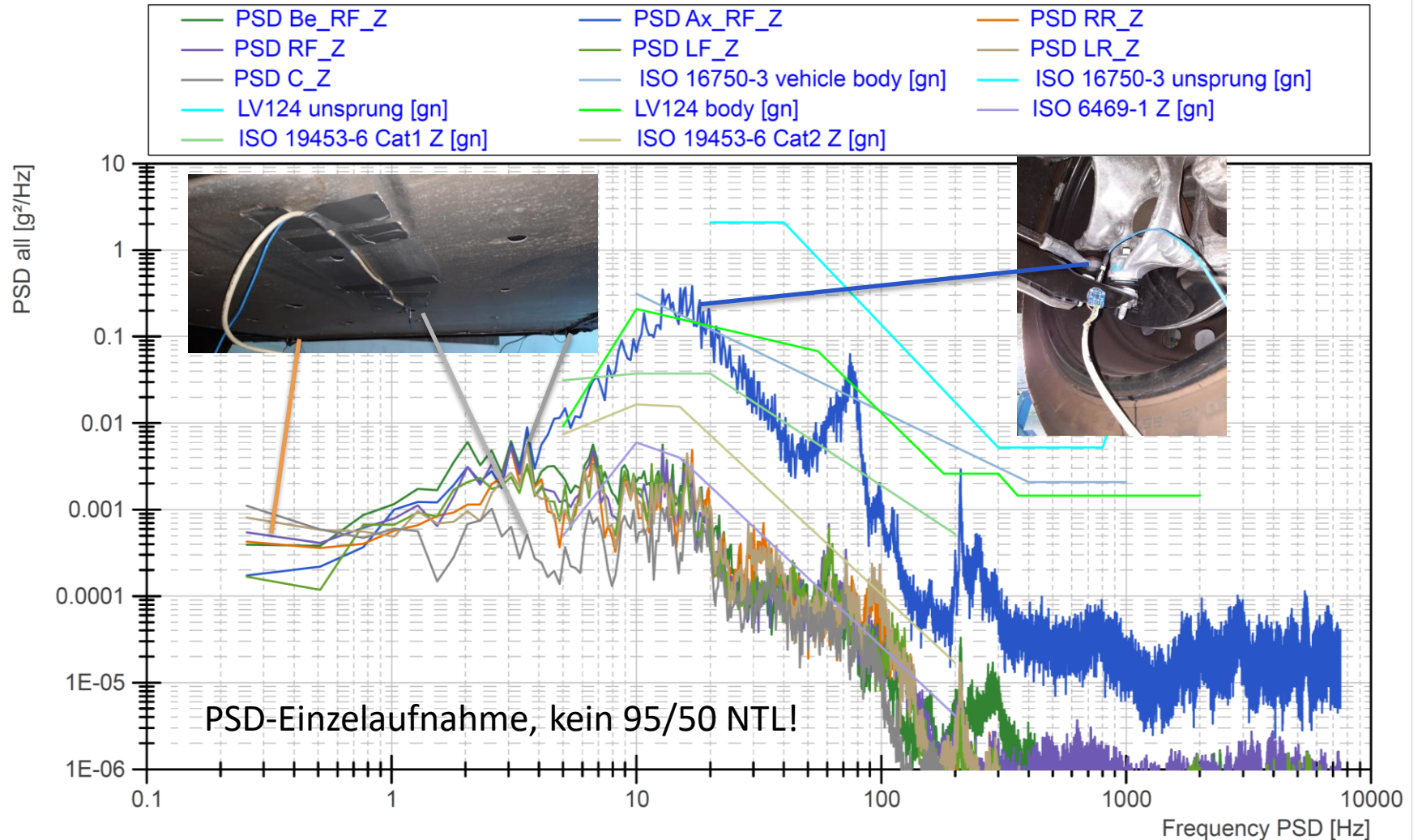
USB-1608G ICP (Gerät 1) - Analog - 27.10.2021 14-38-27,57873 empty+80 rough cobble stone 30kph_edited



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

preliminary results VW ID3 (ICP)

USB-1608G (Gerät 1) - Analog - 16.06.2021 14-01-26,78212 empty +80kg rough cobble stone 30kph shortened_edited



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Wie sähe eine mögliche Prüfbelastung aus?

Ziel: Komponententest des Battery Packs im Labor
=> Ableitung von relevanten Prüfbelastungen

1)

95/50 NTL nach DIN EN 60721-2-9

- Annahme: Dekaden der PSDs sind normalverteilt
- statistische Auswertung in 10er Logarithmus
- Mittelwert, Standardabweichung => Normal Tolerance Limit
- 95% Wahrscheinlichkeit, 50% Konfidenz, hier „Genauigkeit“

=> siehe auch Heinzen, Till; Plaumann, Benedikt; Kaatz, Marcus: Influences on vibration load testing levels for BEV automotive battery packs. MDPI vehicles, 5 (2), DOI: 10.48441/4427.756

2)

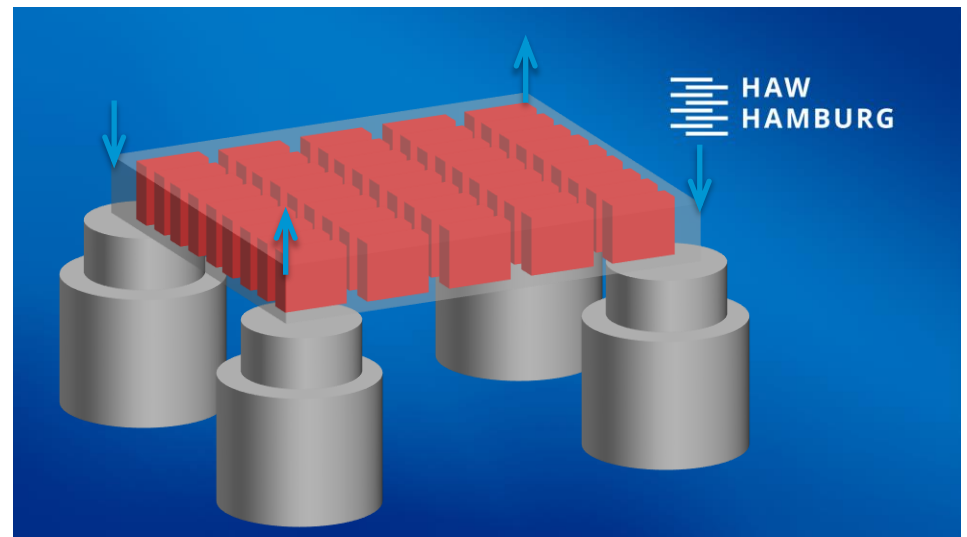
Reduktion auf schädigungsrelevante Anteile

3)

?Zeitraffung nach Palmgren-Miner?

4)

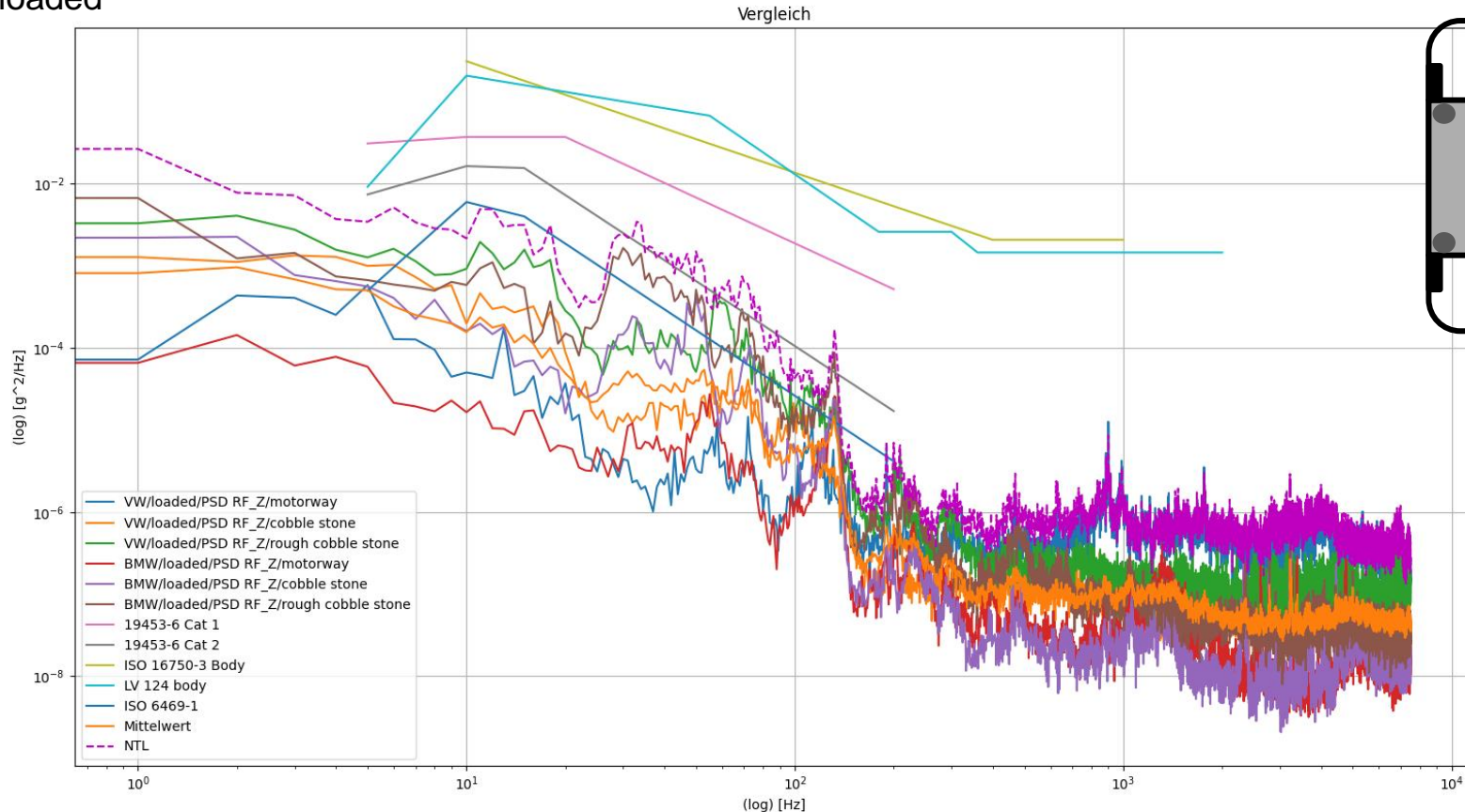
Äquivalenzbetrachtung mit hoher Kurtosis
im Rauschprofil oder Gauß-Äquivalent



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

95/50 NTL nach DIN EN 60721-2-9

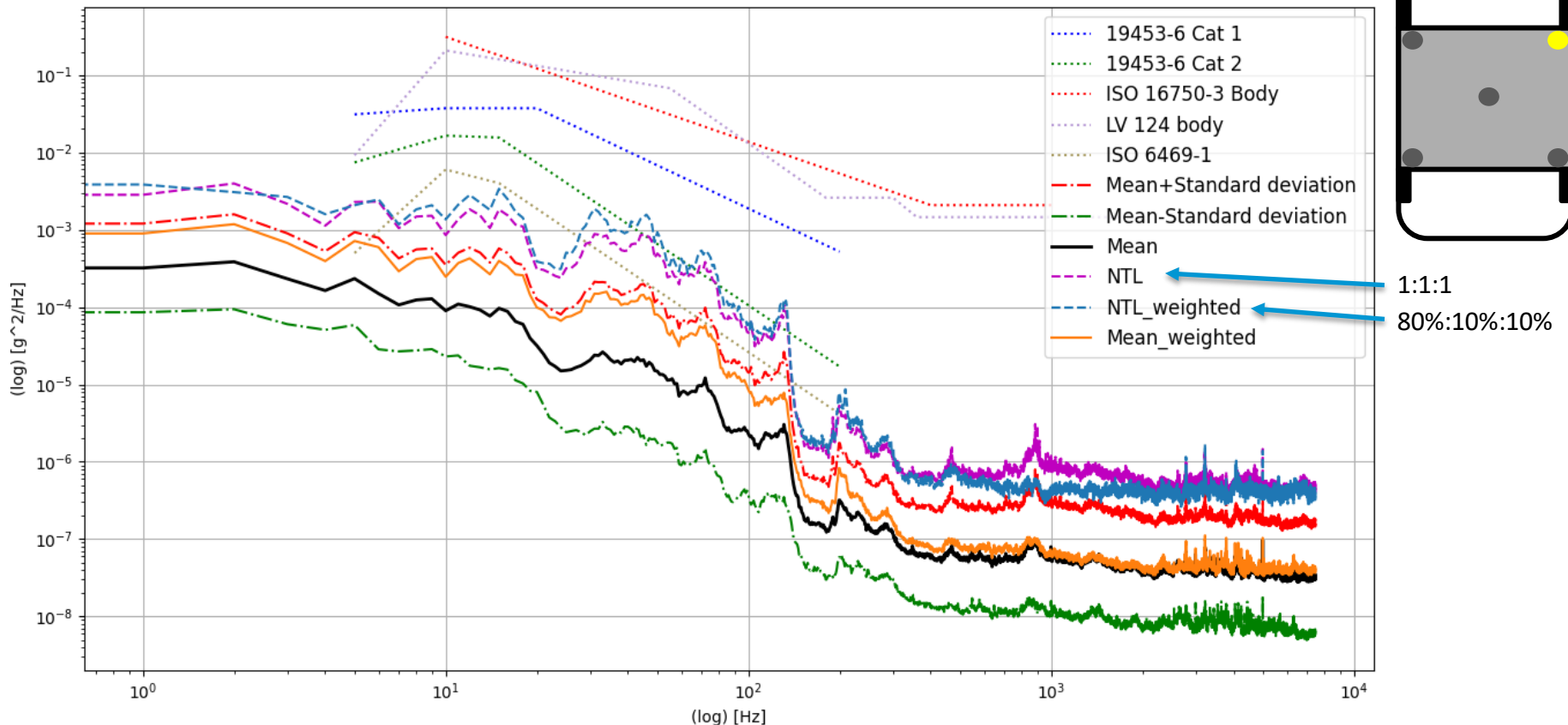
- 1 ICP sensor on battery (right front)
- 2 vehicles
- 3 road types (1:1:1)
- loaded



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

95/50 NTL nach DIN EN 60721-2-9

- 1 ICP sensor on battery (right front)
- 2 vehicles
- 80% good road,
- 20% bad road (10% cobble stone, 10% rough cobble stone)
- good road < infinite life



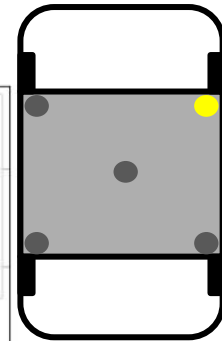
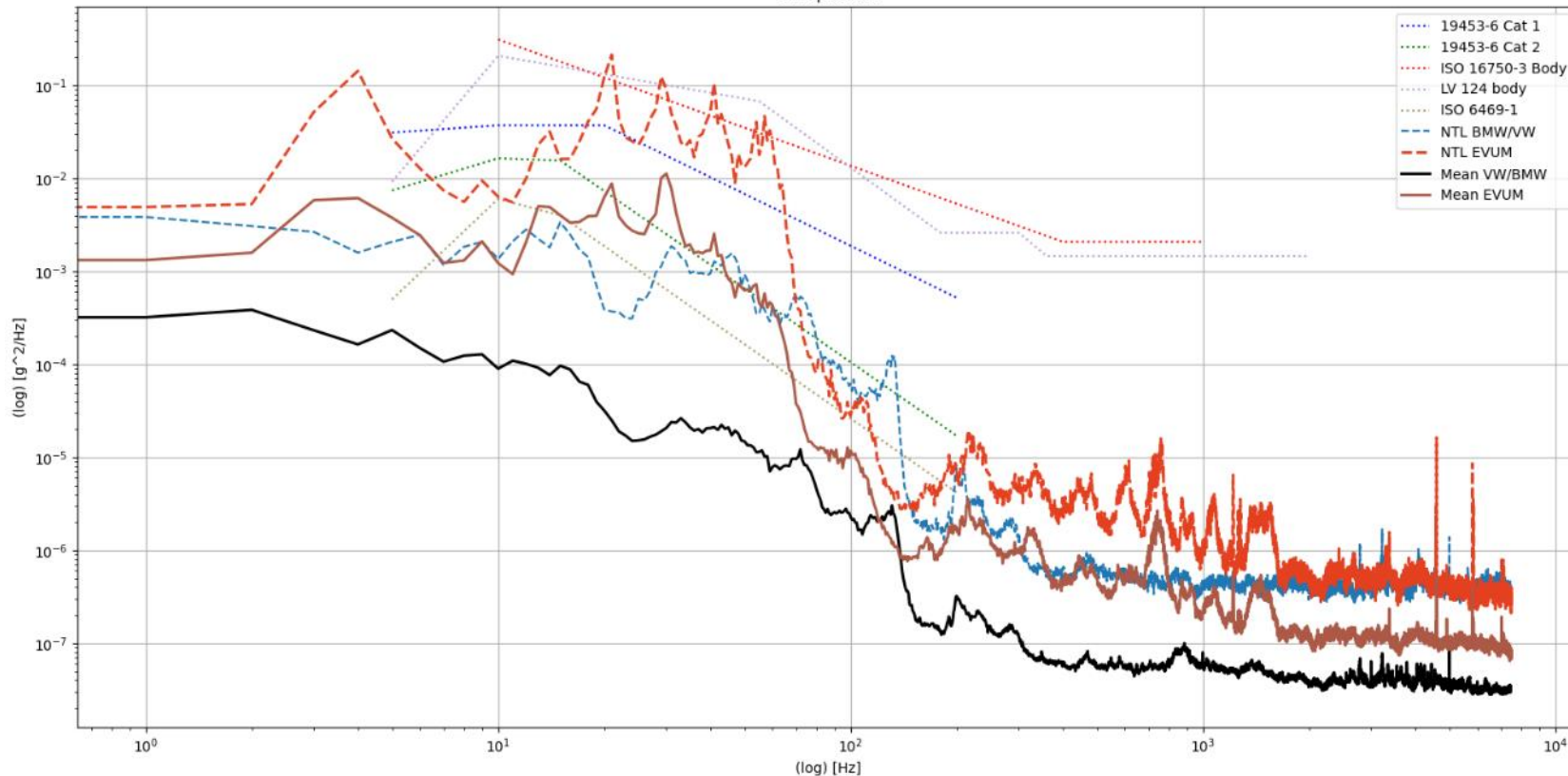
VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

95/50 NTL nach DIN EN 60721-2-9

- 1 ICP sensor on battery (right front)
- 2 BEV automotive vehicles, 1 off-road mini truck
- 3 road types (1:1:1)



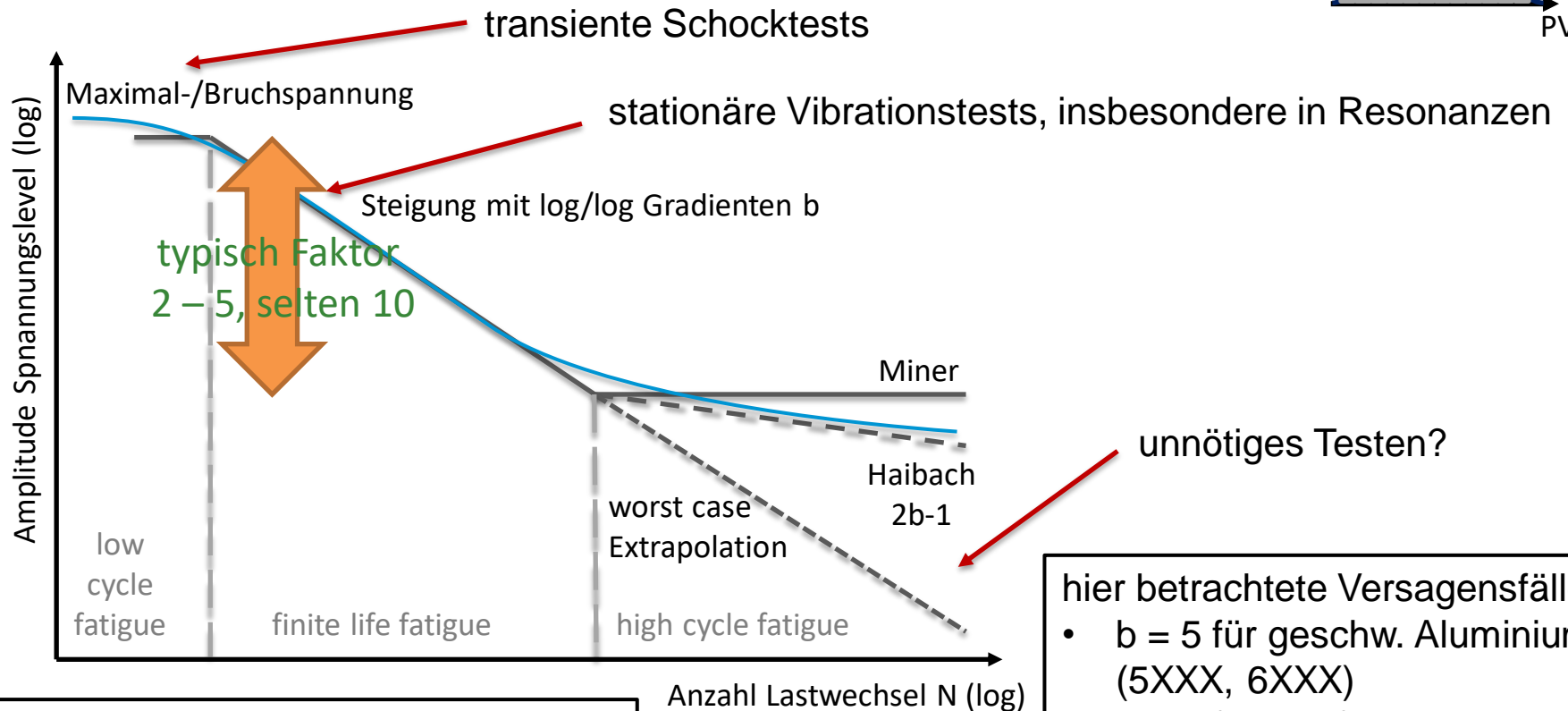
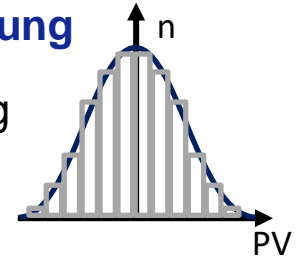
Comparison



VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Fatigue Damage Spectrum - Ermüdungsanalyse bei der Vibrationserprobung

- Reale Anregungen beinhalten nicht nur ein Lastniveau, Verteilung ist wichtig
- Ermüdungsanalyse basiert auf akkumulierter Spannungsschädigung



bisher nicht betrachtete Versagensfälle

- Dichtungen
- Wärmeübertragungsmaterialien

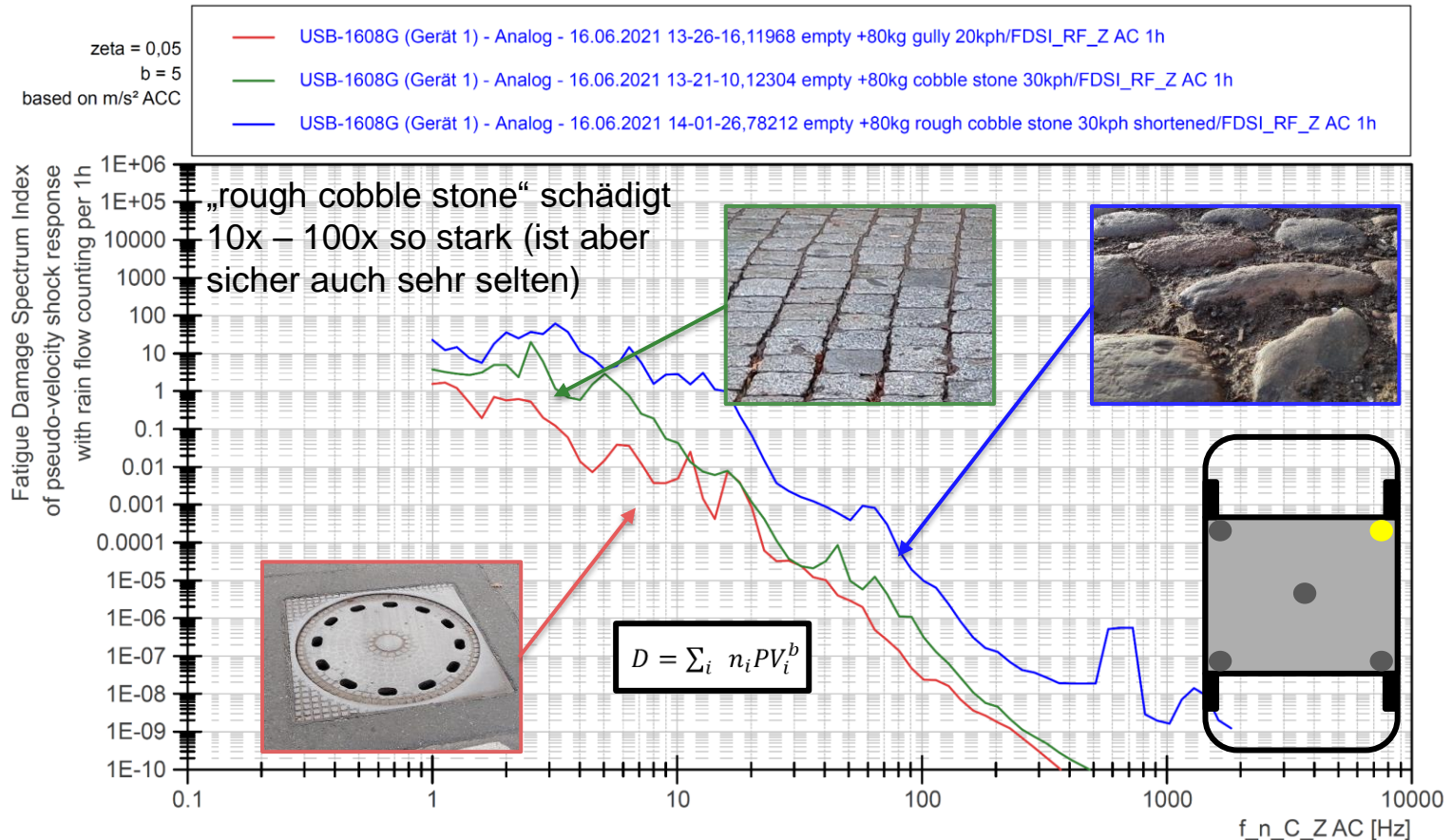
hier betrachtete Versagensfälle

- $b = 5$ für geschw. Aluminium (5XXX, 6XXX)
- $b = 5$ für Kupferleitung
- $b = 2$ für Lötzinn (niedriger Extremwert)

VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

VW ID3 Fatigue Damage Spectrum

- FDS (PV in [m/s]) für Ecke Right Front (RF) des Batteriepacks mit
- Wöhler-Kurven-Exponent von 5 und 5% Dämpfung



- Ermüdungsschädigung (berechnet für 1h Expositionsdauer) ist am höchsten für raues Kopfsteinpflaster

VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

Zusammenfassung

- Schädigungsrelevant ist meistens nur die „rough cobble stone“ Strecke, ggf. auch die Strecke mit normalem „cobble stone“
- erste Erkenntnisse aus der kleinen vorhandenen Datenbasis
 - Vierpunktanregung notwendig um Torsions- und Biegemoden anzuregen

Prüfprofile

- ISO 6469-1 nicht konservativ
- ISO 16750-3 und LV124 body sehr konservativ
- ISO 19453-6 Cat 1 anscheinend gut konservativ
- ISO 19453-6 Cat 2 passt ungefähr, Detailanalyse steht aus

geplant (Projekt GRISU und weitere)

- Erweiterung der Messdatenbasis mit vielen Fahrzeugen
- Weiterentwicklung der Versuchsumgebung auf Vier-Punkt-ED-Shaker-System
- Entwicklung vollständiger Komponententest-Versuchsumgebung inkl. Brandschutz

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Copyright – Urheberrechtshinweis

Alle Inhalte dieser Präsentation, insbesondere Texte, Fotografien und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei Prof. Dr.-Ing. Benedikt Plaumann und ggf. anderen genannten Autoren. Bitte fragen Sie mich, falls Sie die Inhalte verwenden möchten.

Unter der „Creative Commons“-Lizenz“ veröffentlichte Inhalte, sind als solche gekennzeichnet. Sie dürfen entsprechend den angegebenen Lizenzbedingungen verwendet werden.