

ANFORDERUNGEN AN VIBRATIONSTESTS VON GROßFLÄCHIGEN FAHRZEUGBATTERIEN

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

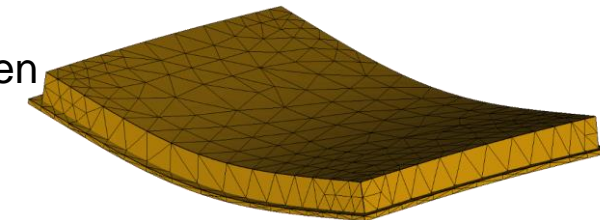
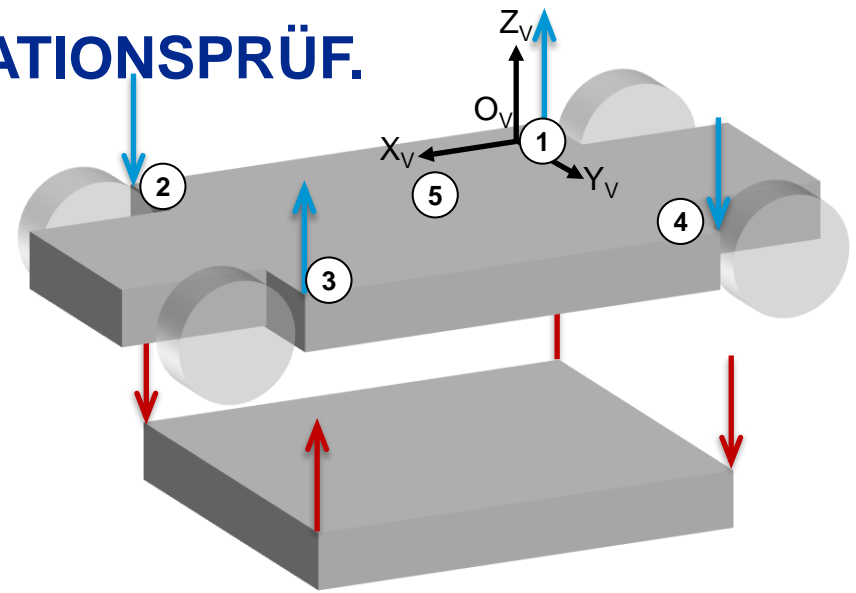
ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

Elastomechanik und Versagen

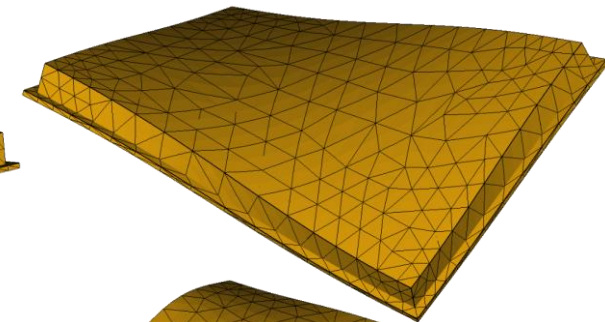
- Die überwiegende Anregung der Batterie kommt aus der Fahrzeug-Boden-Interaktion

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

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

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

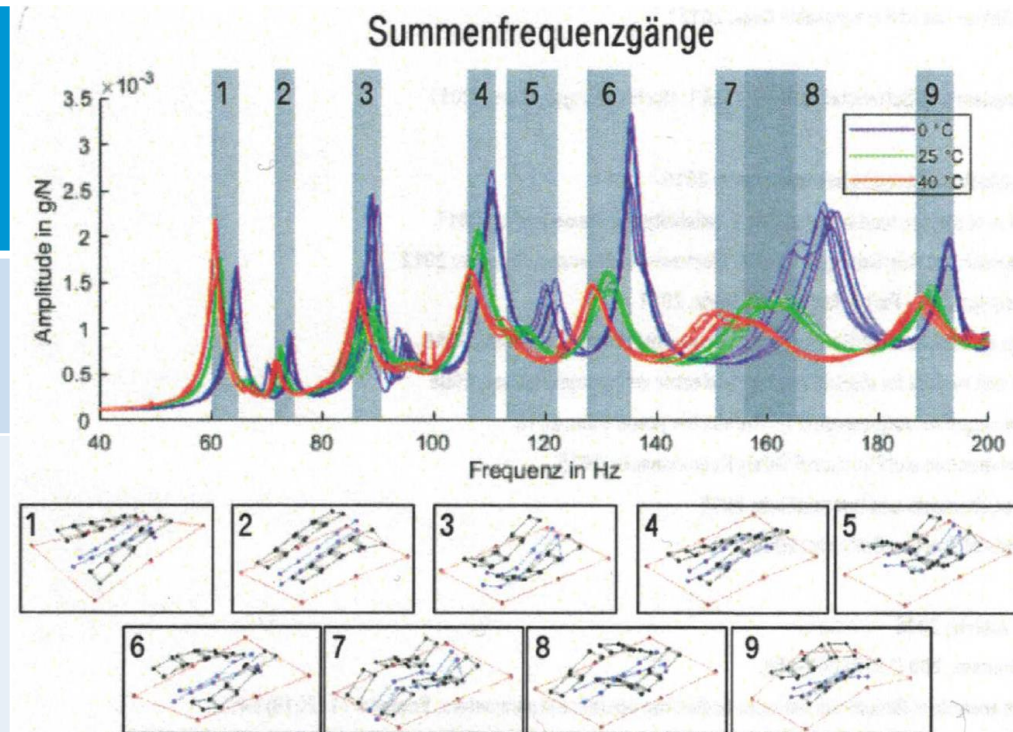
Statische Torsionsversuche bilden nicht die Realität ab, keine Verstärkung



ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

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!

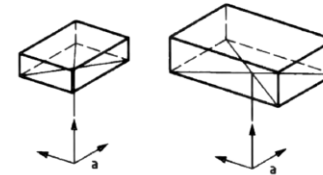
ANFORDERUNGEN RESS VIB.

ISO19453-6 2020

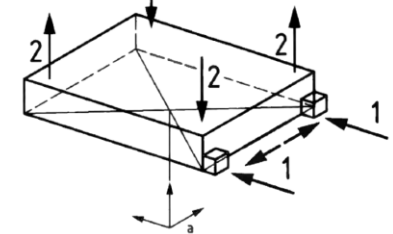
- für Cat 1 und 2 (klein/mittel, geringe Interaktion) eindeutige Prüfungen wie „Anbauteile“
- Aber wie sollen große Fahrzeugbatterien in Cat 3 (sehr große Masse, hohe Interaktion) getestet werden?
- Entwicklungsprozesse nach dem V-Modell benötigen Anforderungen für jede Komponentenumgebung
- MAST ist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

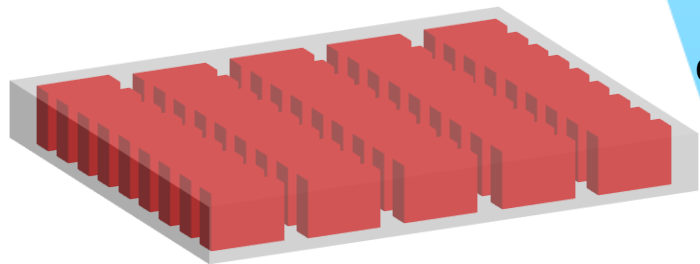
multiaxial system to induce vibrations or shocks in all three axial dimensions to the DUT

ISO 19453-6 2020

ROADMAP “TOWARDS REALISTIC BEV BATTERY TESTING”



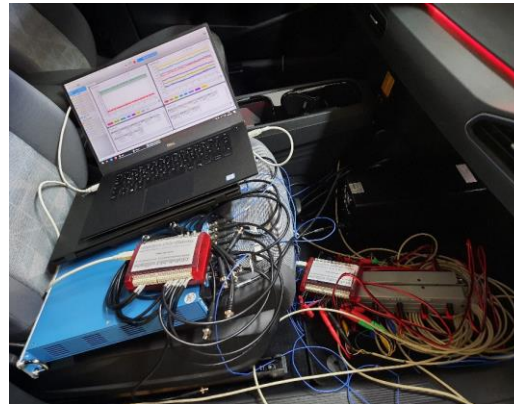
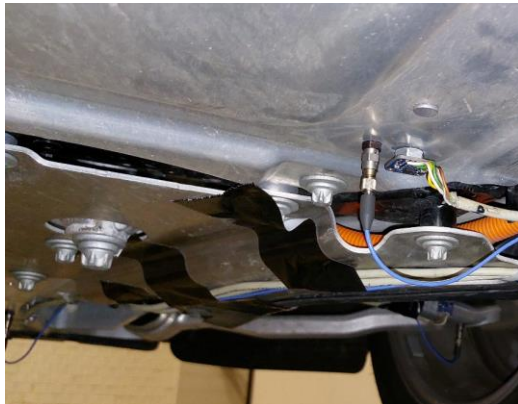
Battery, Engineering & Vibration



ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

Vorstudien Messkampagne

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

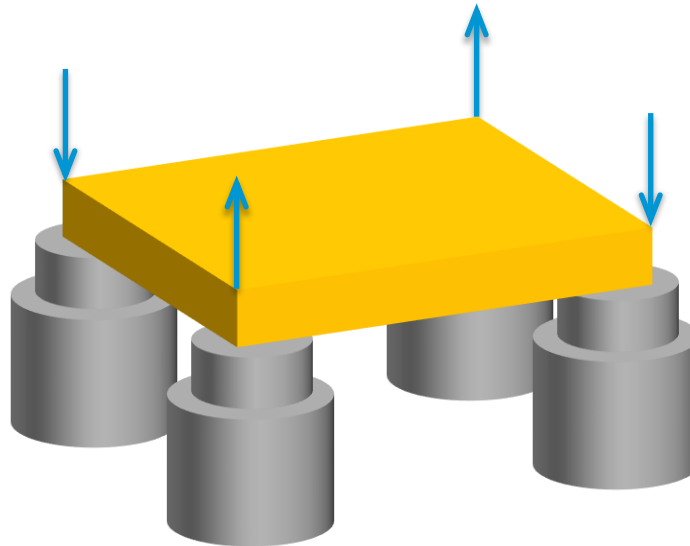


ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

An outlook on the requirements

mögliche 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



ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

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

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

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

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

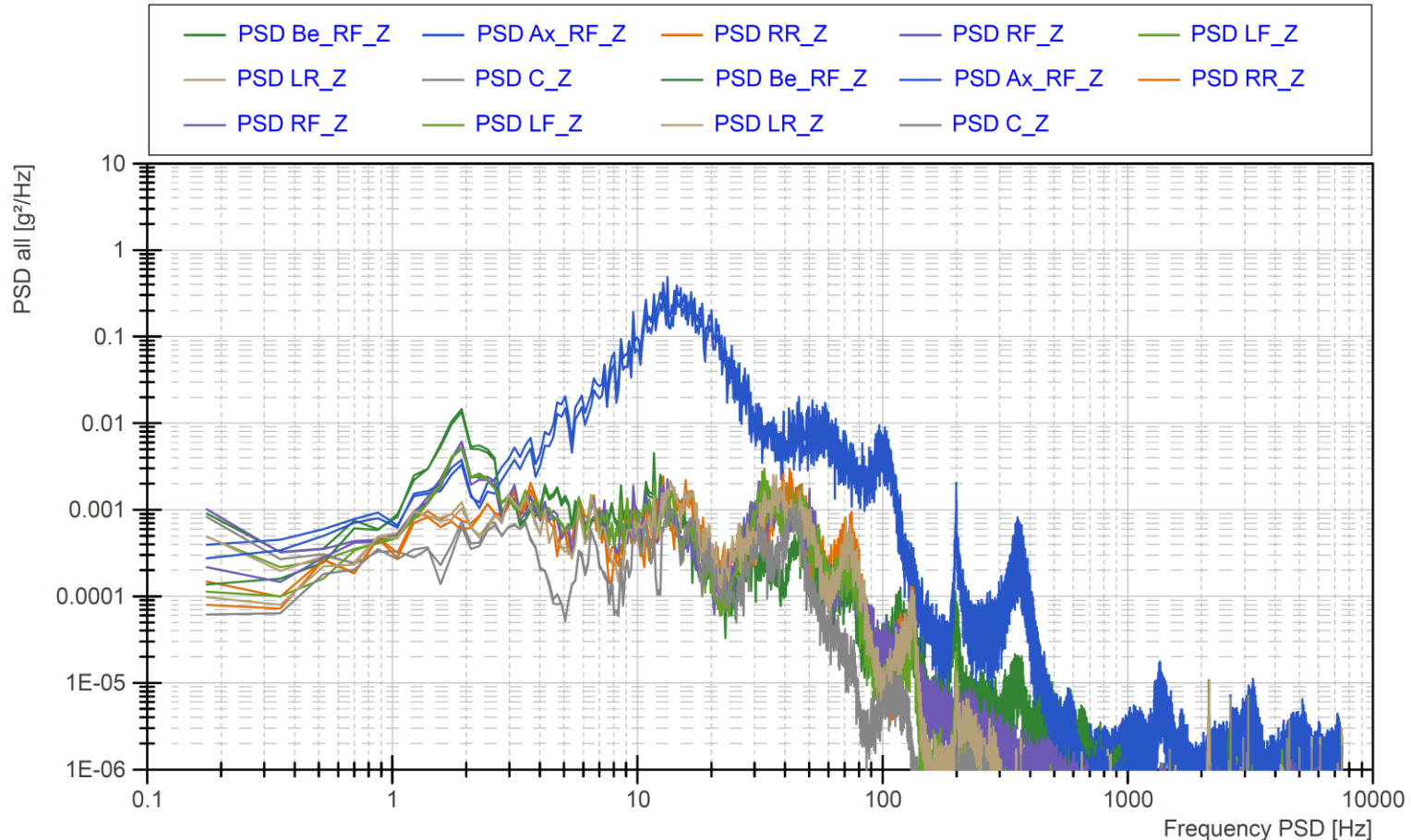


ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

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.

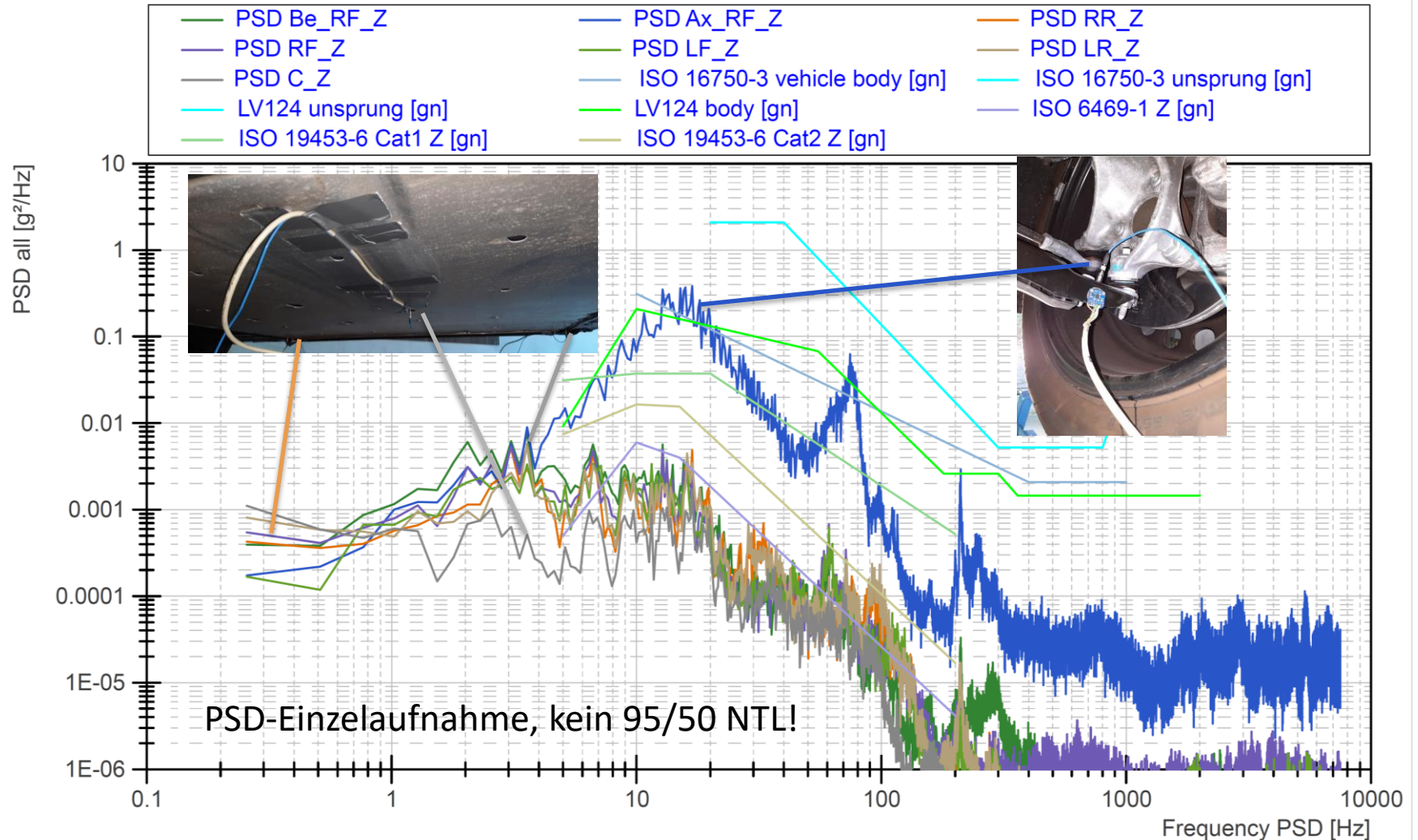
USB-1608G ICP (Gerät 1) - Analog - 27.10.2021 14-38-27,57873 empty+80 rough cobble stone 30kph_edited



ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

preliminary results VW ID3 (ICP)

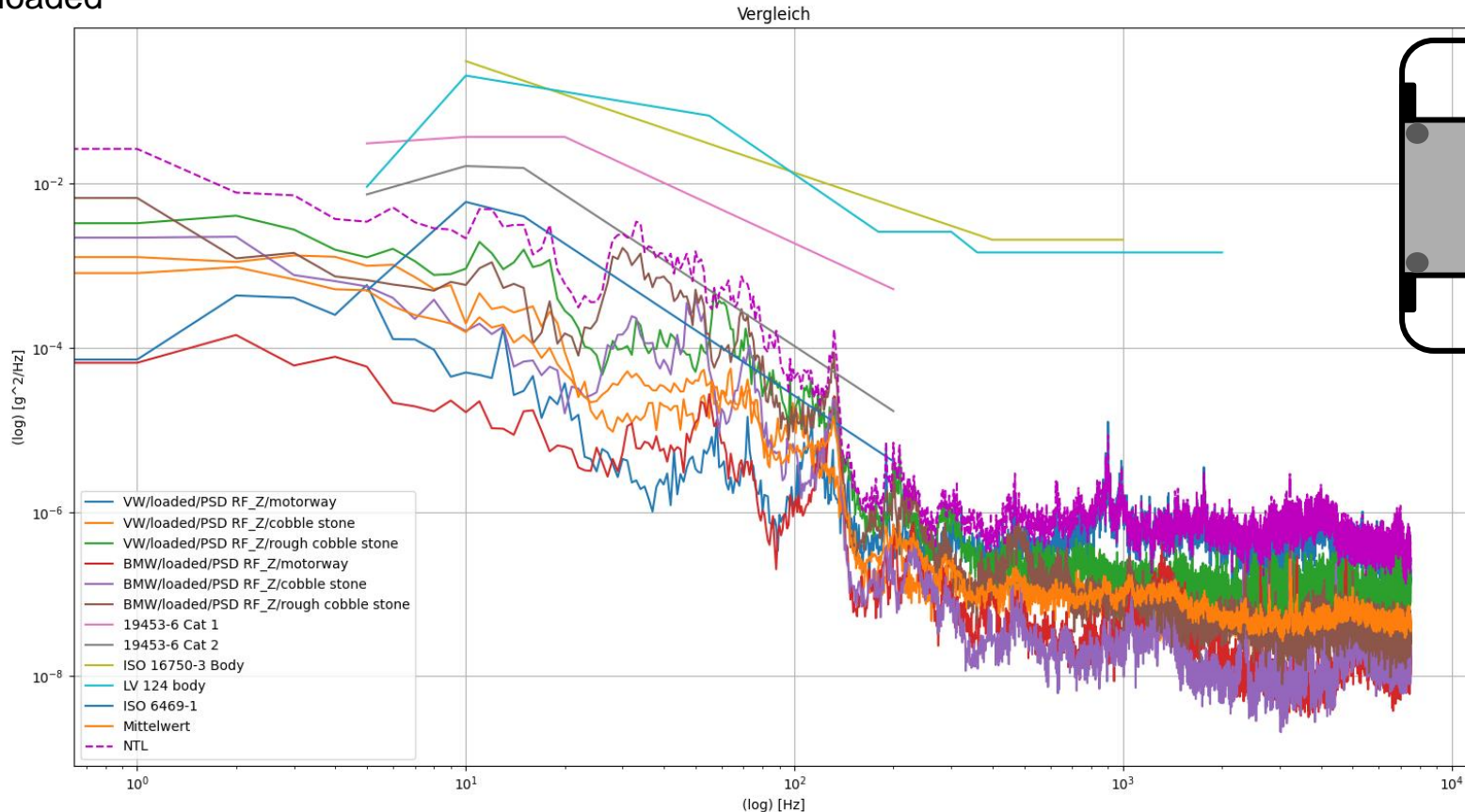
USB-1608G (Gerät 1) - Analog - 16.06.2021 14-01-26,78212 empty +80kg rough cobble stone 30kph shortened_edited



ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

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

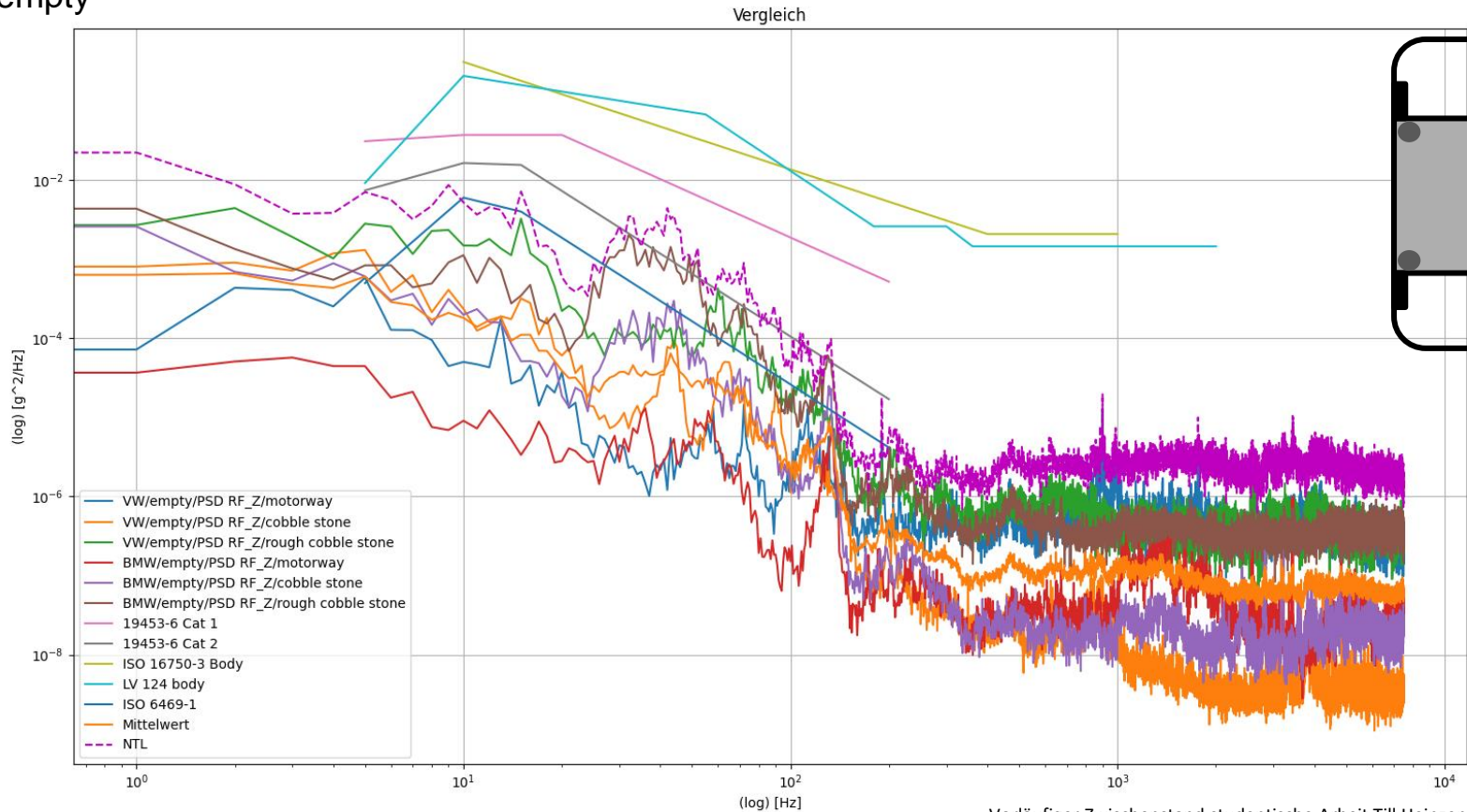


Vorläufiger Zwischenstand studentische Arbeit Till Heinzen

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

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

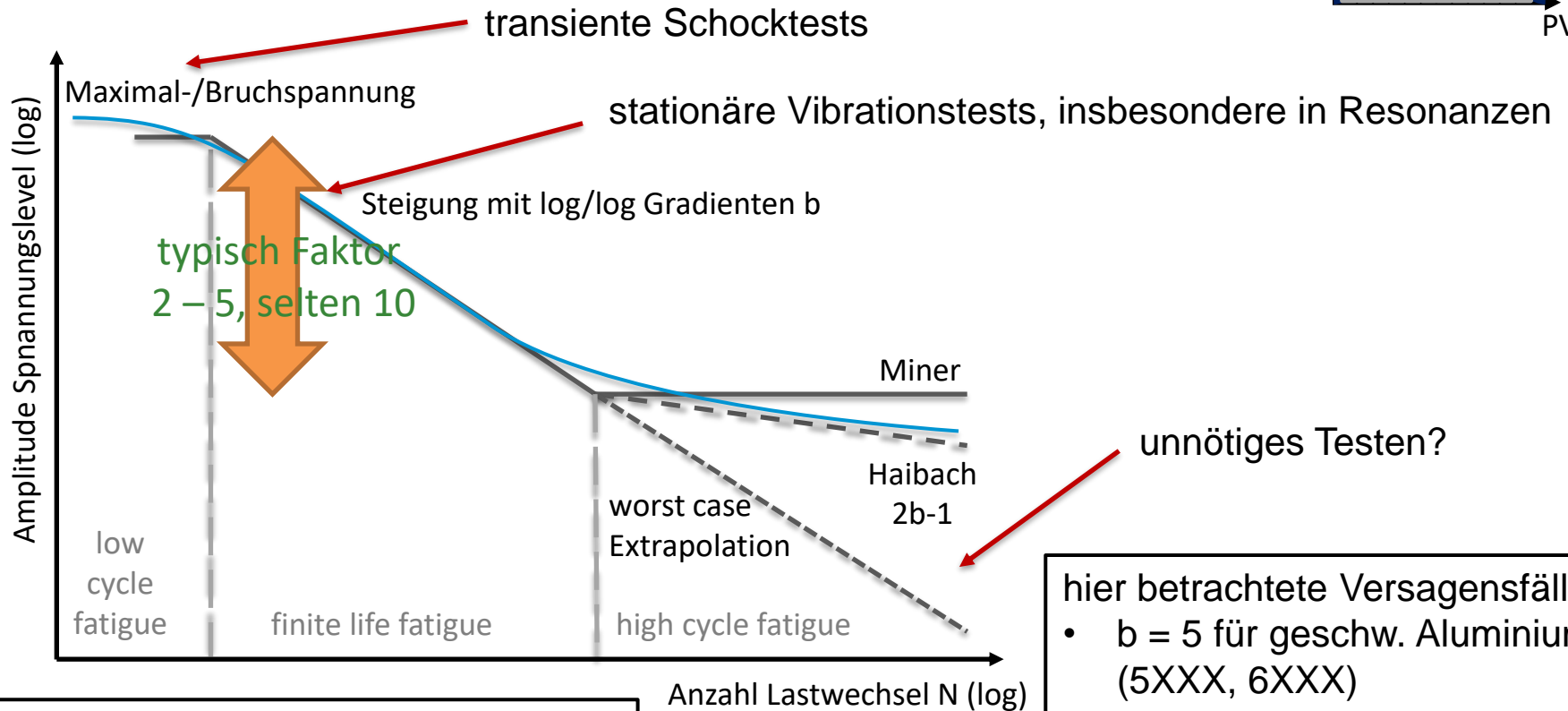
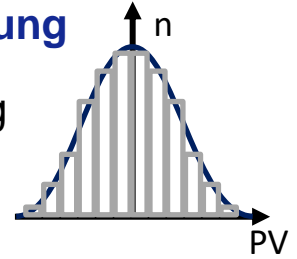
- 1 ICP sensor on battery (right front)
- 2 vehicles
- 3 road types (1:1:1)
- empty



ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

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

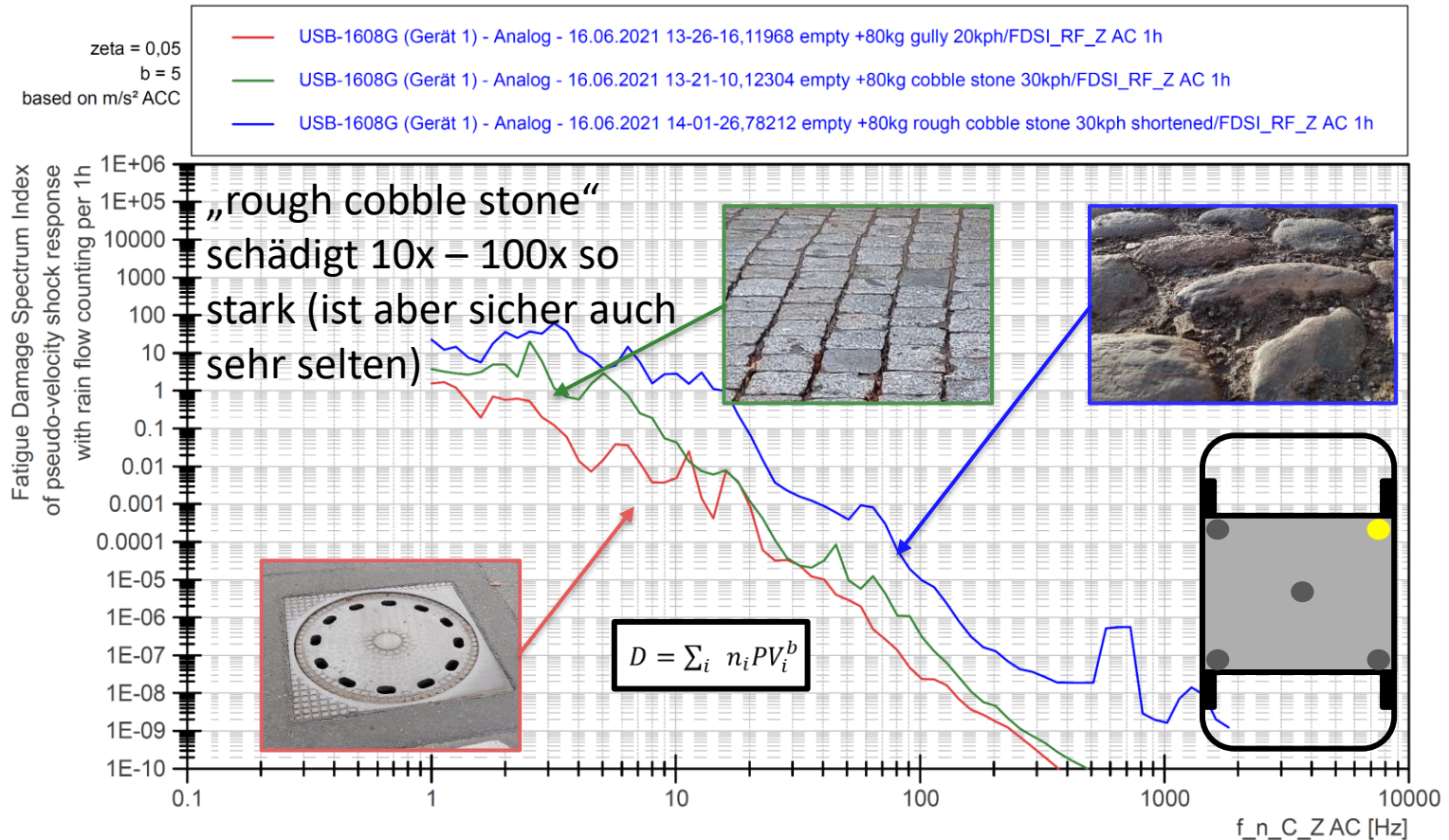
hier betrachtete Versagensfälle

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

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

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

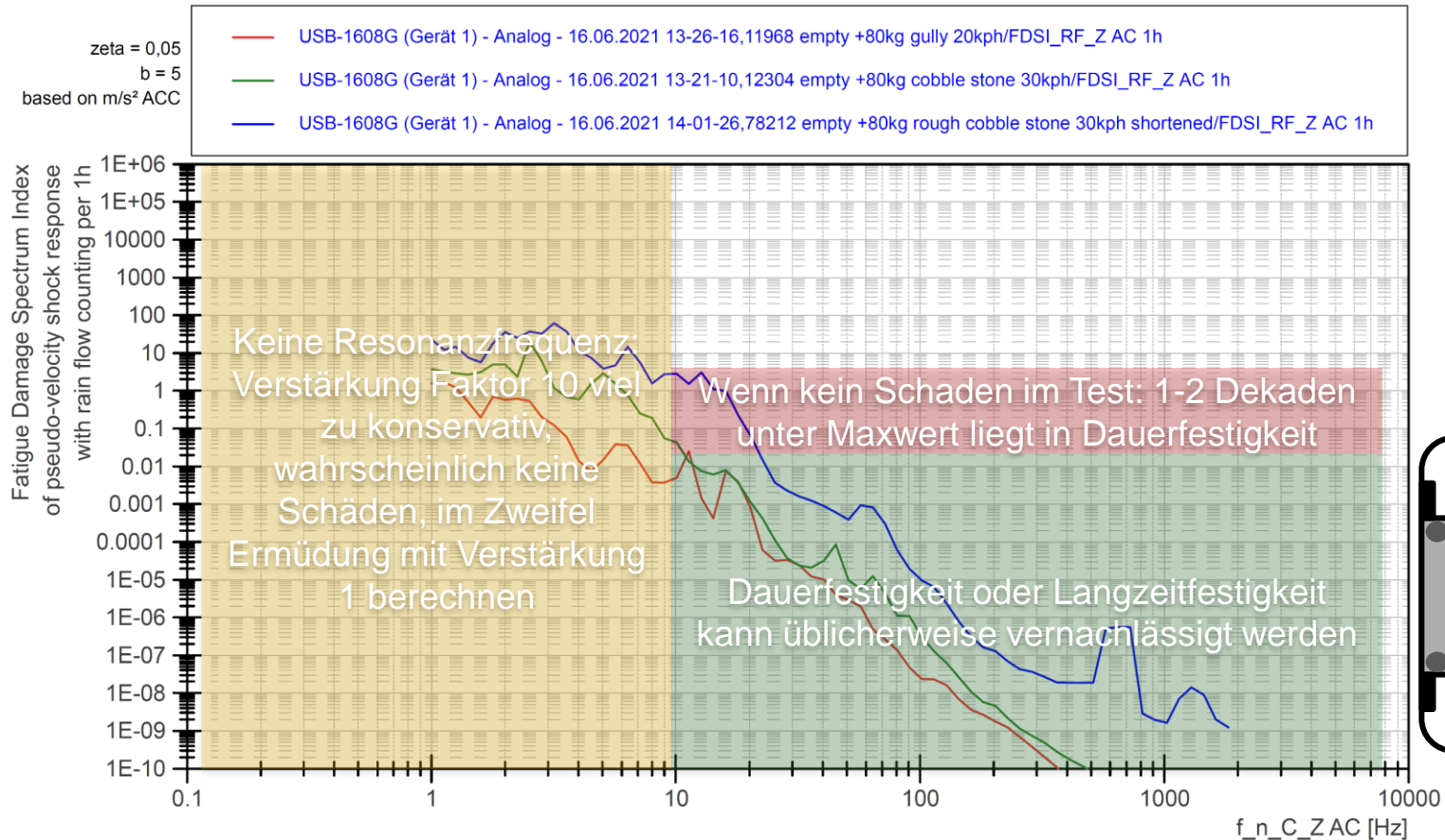


- Ermüdungsschädigung (berechnet für 1h Expositionsdauer) ist am höchsten für raues Kopfsteinpflaster

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

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

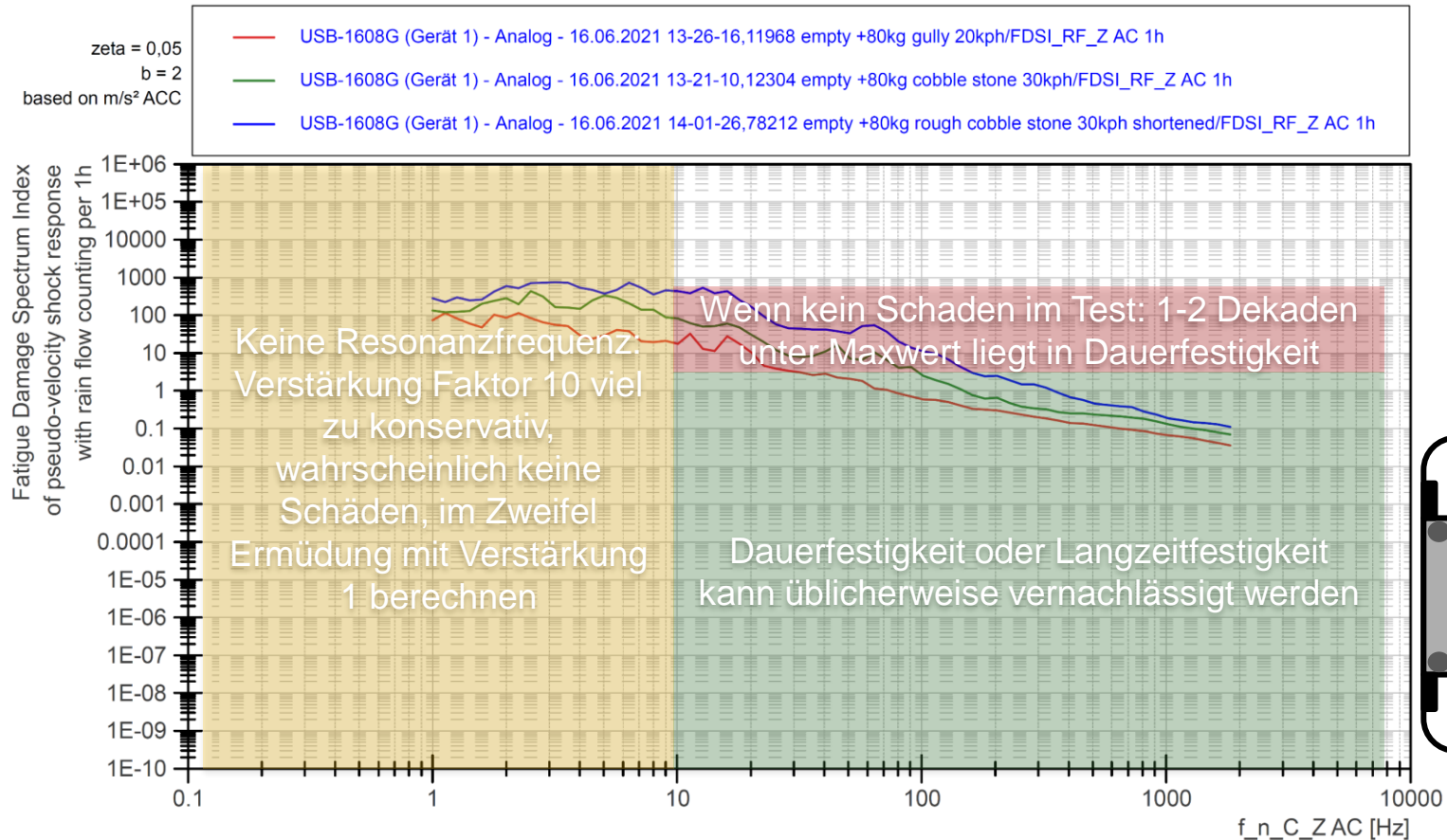


- Ermüdungsschädigung (berechnet für 1h Expositionsdauer) ist am höchsten für raues Kopfsteinpflaster

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

VW ID3 Fatigue Damage Spectrum

- FDS (PV in [m/s]) für Ecke Right Front (RF) des Batteriepacks mit
- Wöhler-Kurven-Exponent von 2 und 5% Dämpfung



- Lötzinn mit niedrigem b erfährt höhere Schädigung bei höheren Frequenzen
- Für SDOF RMS < 1 (hier für Bodenanzregung in [m/s]): höhere Frequenzen werden “nach oben gedreht”

ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

Zusammenfassung

- Schädigungsrelevant ist meistens nur die rough cobble stone Strecke
- erste Anzeichen aus geringerer vorhandener Datenbasis
 - 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

Aktuell in Arbeit / geplant

- statistische Auswertung über variable Einflüsse / Dimensionen
- ggf. Recherche / Festlegung geeigneter Lastkollektive für Vergleich
- Auswahl schädigungsrelevanter Anregungen
- Aufbereitung in Prüfverfahren nach DIN EN 60721-2-9 über statistische Berechnung, z.B. 95% der Werte der Variablen mit 50% Konfidenz oder auch mit 90% Konfidenz unterhalb des Wertes der Grenzkurve
- Argumentativ nachvollziehbare parametrische Zusammensetzung von Straßenzuständen

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.