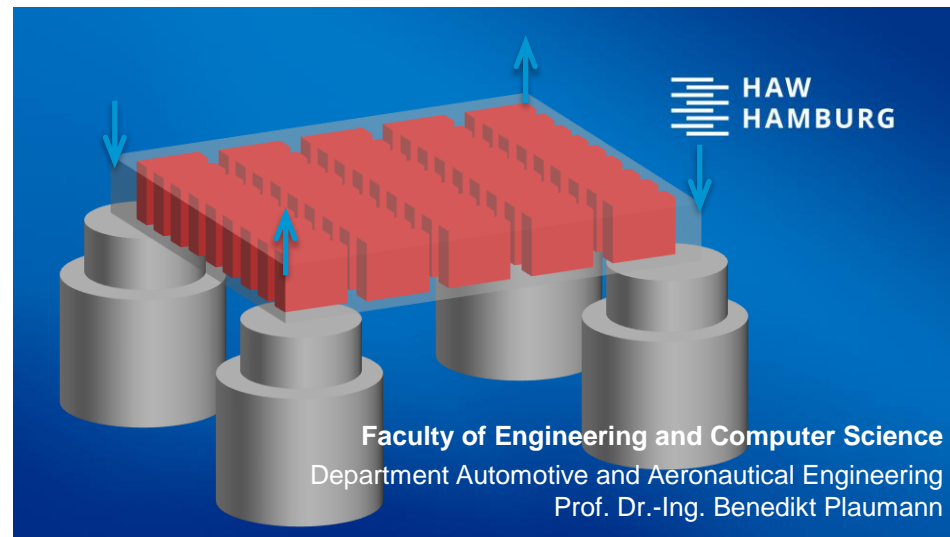


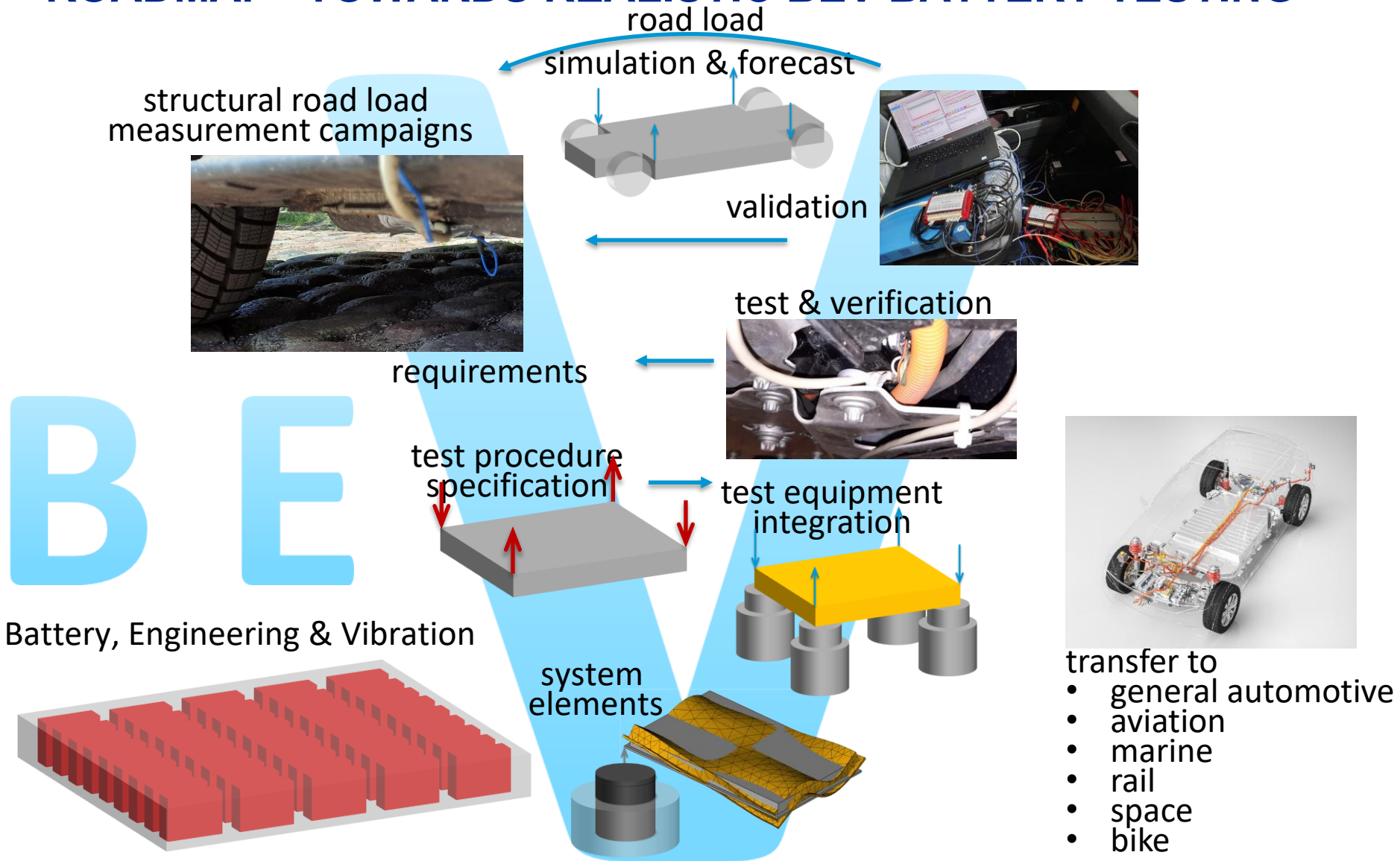
# VERSAGEN VON BEV BATTERY PACKS

und das Fatigue Damage Spectrum

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



# ROADMAP “TOWARDS REALISTIC BEV BATTERY TESTING”



Battery, Engineering & Vibration

# TESTING VON BATTERY PACKS

## Warum testen?

Vorgehen zur Abbildung einer Vibrationsumgebung im Labor:

Festlegung des Ziels der Analyse (Black-Box-Nachweis oder Systemanalyse/Parameterbestimmung?)

Analyse der abzubildenden Umgebung aus Prüfspezifikation oder realen Messdaten

Festlegung von:

1. Maßnahmen
2. Annahmen
3. Vereinfachungen
4. Prüfmaschinen
5. Messbedingungen

Zusammenführung in Prüfplan

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Versagensarten

Einteilung möglich

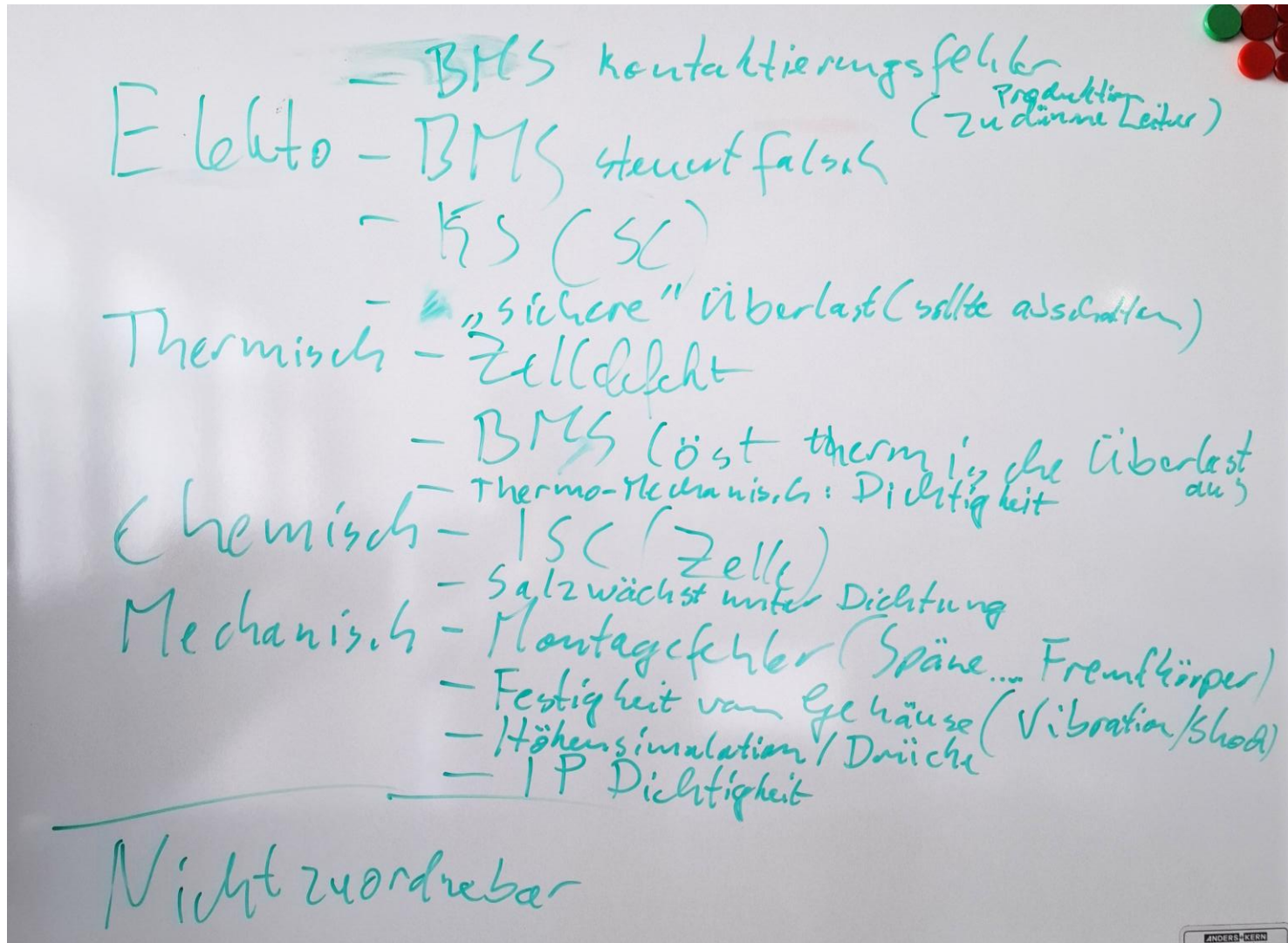
- in Funktion und Sicherheit
- nach Auftretensort: Entwicklung (Vorentwicklung, Erprobung, Zulassung...), Fertigung, Betrieb, Entsorgung
- Nach Disziplin: Elektrisch, Mechanisch, Thermisch, Chemisch
- Nach Ablauf: Initialfehler, Folgefehler, repräsentatives Schadensbild

Was sind Versagensbilder und deren Wirkkette, die häufig im Labor auftauchen?

- Elektrischer Funktionsfehler
- Thermisch relevanter Kurzschluss (Leitungen etc.)
- Fehler aus thermischem Kurzschluss
- Fehler aus chemischem Kurzschluss
- Dichtheitsfehler

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

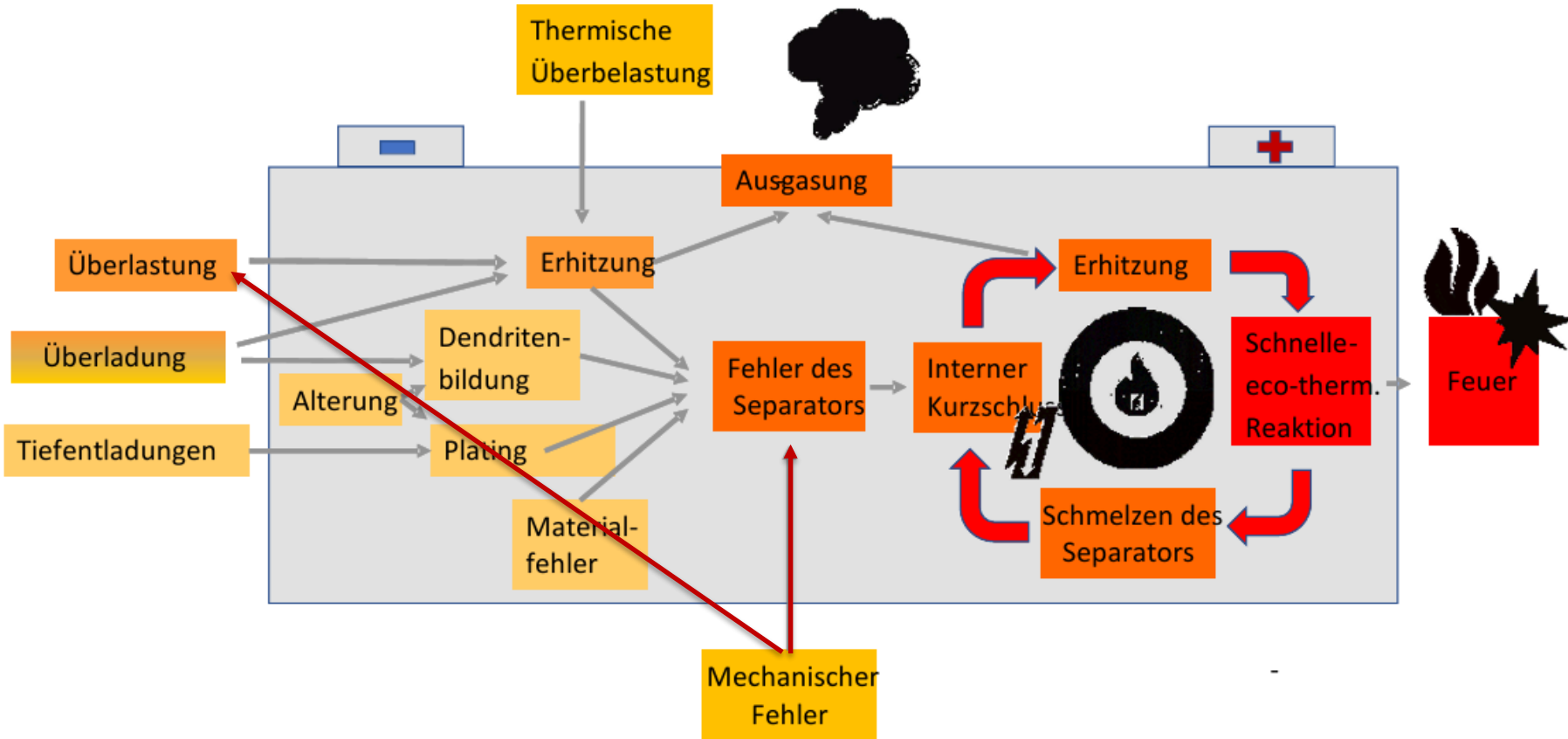
Versagensarten im Labor GUS AK Battery Testing 15.10.2025 DMT



# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Fehler und Ursachen

Elektrische Fehlbelastung

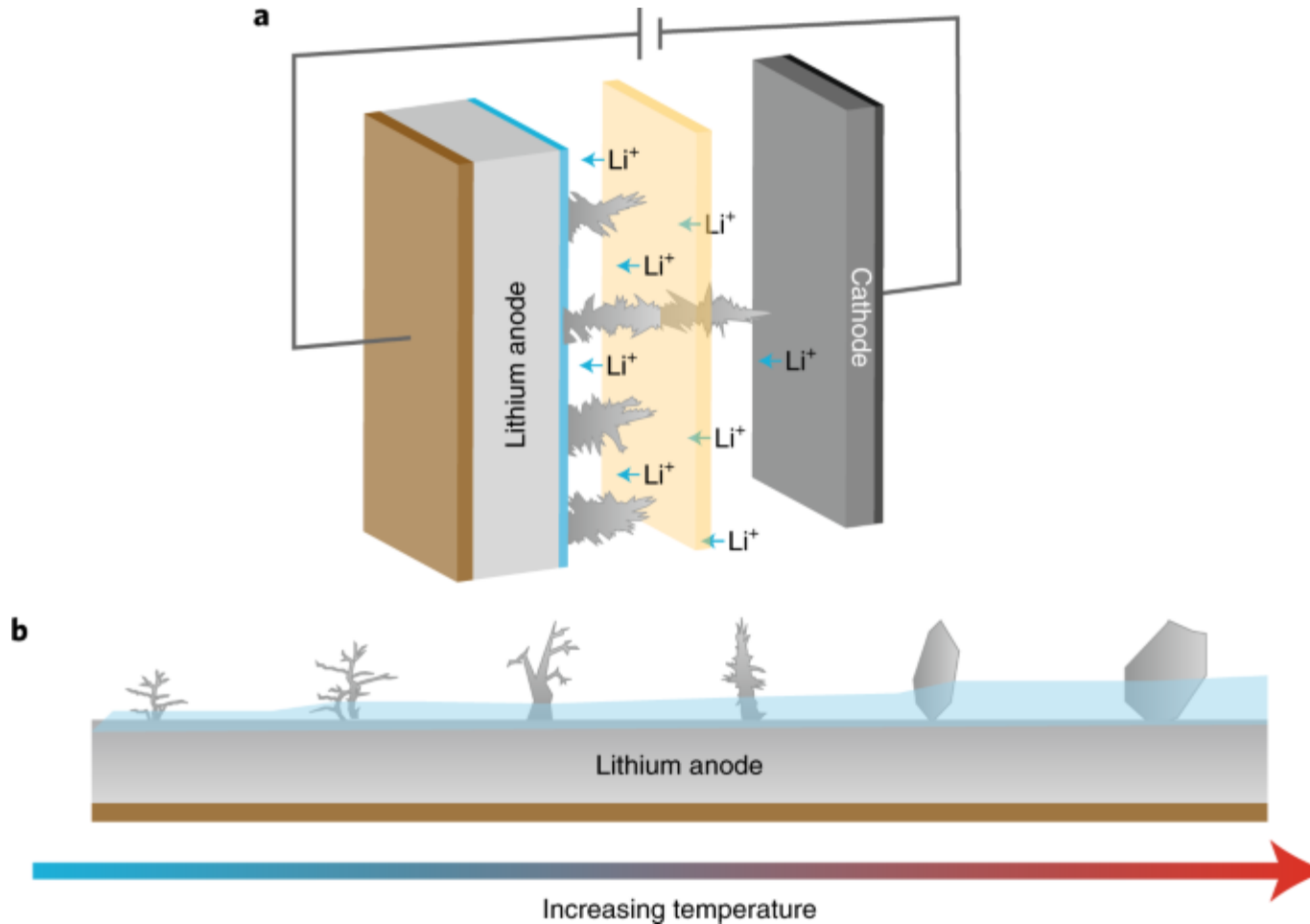


Euralarm – Integrierte Brandschutzlösungen für Lithium-Ionen-Batterien

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Fehler und Ursachen

- Dendrite formation due to chemical reaction over age and cycles

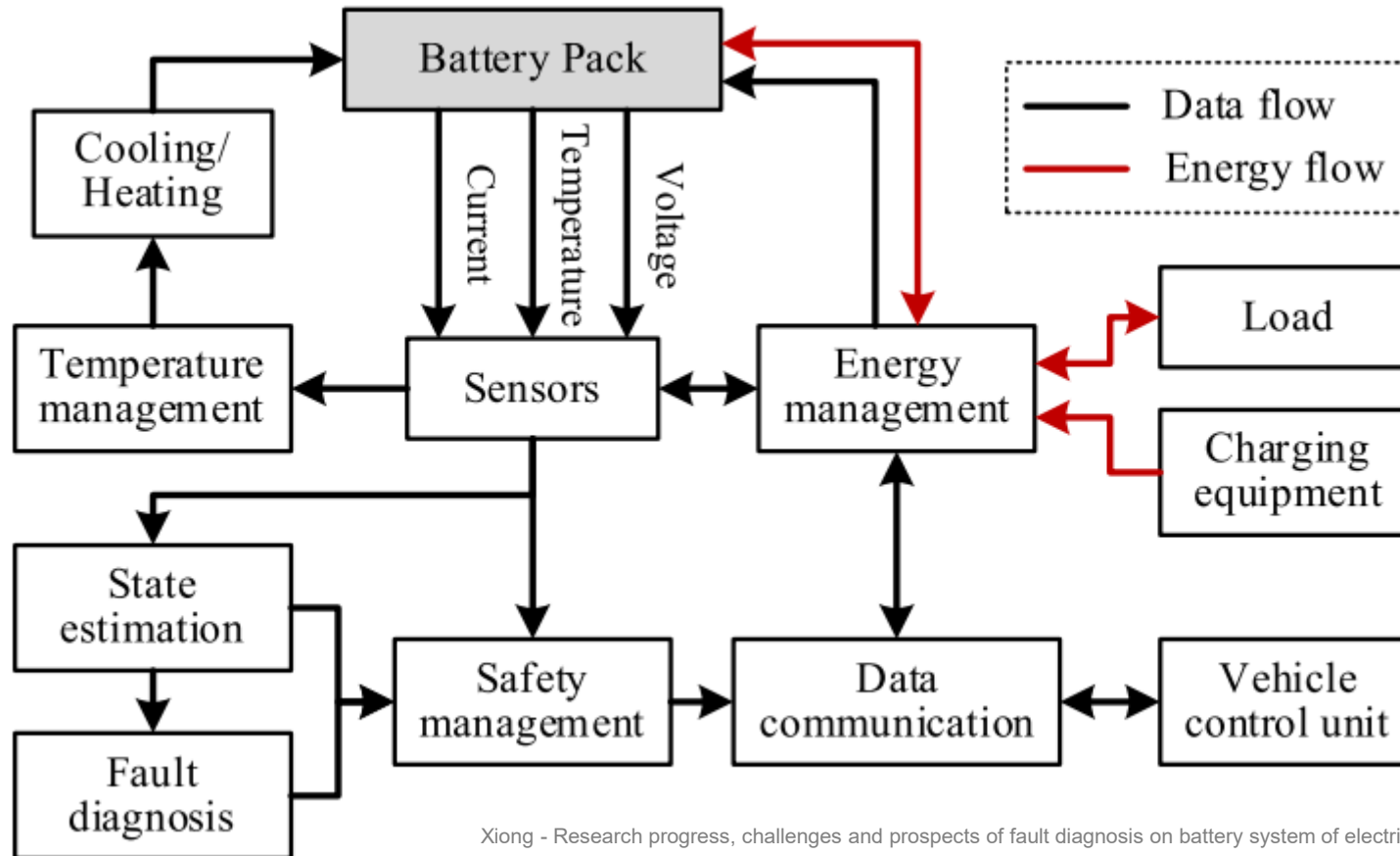


Babu: Good riddance, dendrites

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Versagensarten - Literatur

Wesentliche Komponenten von Battery Packs





# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Versagensarten - Literatur

### Übersicht von Fehlern im Betrieb

- ISC (40% of EV fires)
  - internal: short circuit from manufacturing, lithium dendrite formation ageing
  - External: penetration of separator from external forces
- ESC (20% of EV fires)
  - battery system short circuit from collision deformation, water immersion, failure of connection

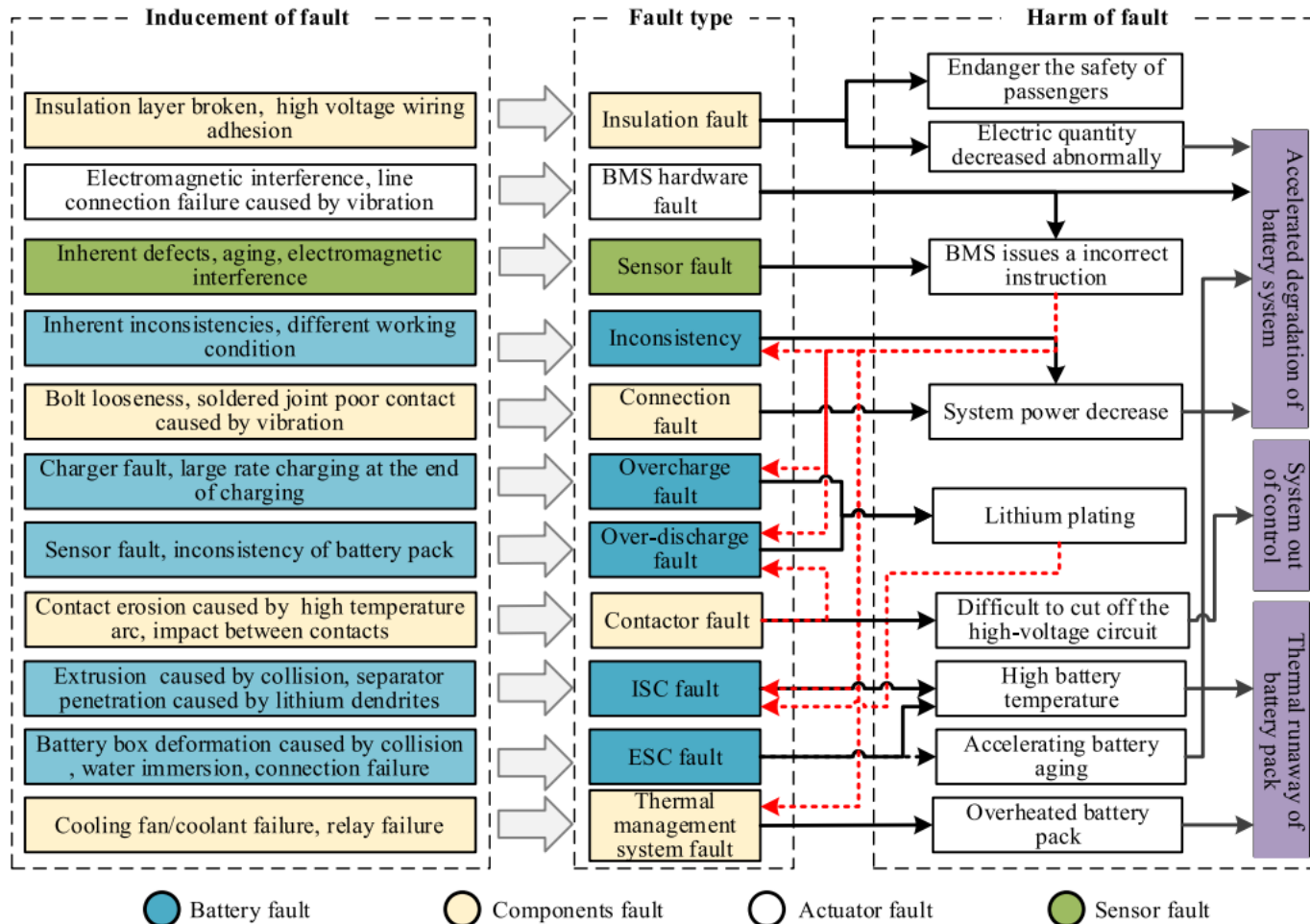
Fault type	Description
BMS hardware fault [18]	Affected by hardware fault such as CAN communication fault, relay fault, and the failure of connection wires, etc., the BMS cannot work normally.
Contactor fault [19]	Affected by high temperature arc during working process, the erodes of contactor cannot connect or disconnect the high voltage circuit of the vehicle normally.
ISC fault [20,21]	The discharge caused by potential difference and accompanied by heat generation when positive and negative electrode materials inside the battery are connected each other.
ESC fault [21,22]	The abnormal discharge caused by the direct connection of positive and negative electrode of battery.
Overcharge fault [23]	The behavior of continuing to charge the battery after the battery is fully charged
Over-discharge fault [24,25]	The behavior of continuing to discharge the battery after the battery reached the discharge cut-off voltage.
Connection fault [26]	Abnormal connection between adjacent cells in the battery system.
Inconsistency [27]	Differences in battery parameters caused by the manufacturing process or the use process.
Insulation fault [28]	The phenomenon that due to electrolyte leakage, external liquid enters battery pack, and the insulation layer is destroyed, the battery module and the cell have a conductive loop and the insulation performance of the external high-voltage loop is reduced.
Thermal management system fault [29]	The cooling/heating system cannot operate normally due to the hardware fault.
Sensor fault [30]	The measurement value bias, drift, precision decline and measurement value freezing caused by aging and worse working environment.

Xiong - Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Versagensarten - Literatur

### Fehlerablauf

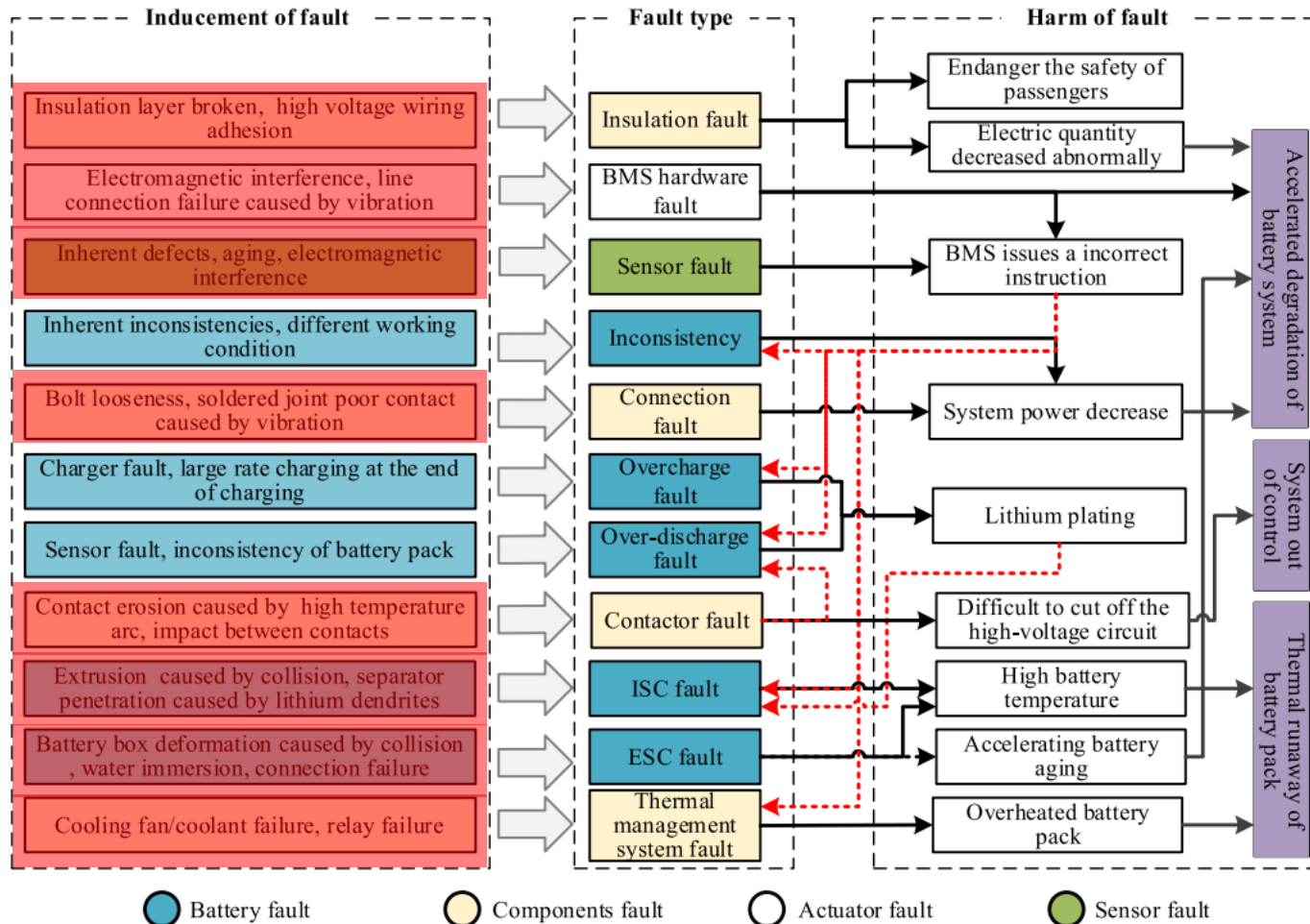


Xiong - Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS ALLGEMEIN

## Versagensarten - Literatur

Possible vibration impact (not weighted!)



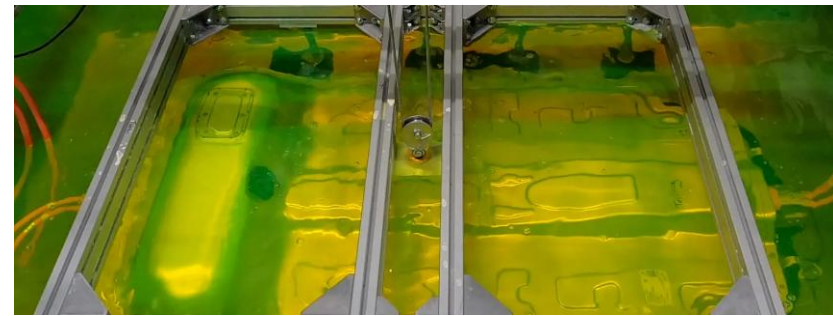
Xiong - Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles

# VERSAGEN VON BATTERY PACKS

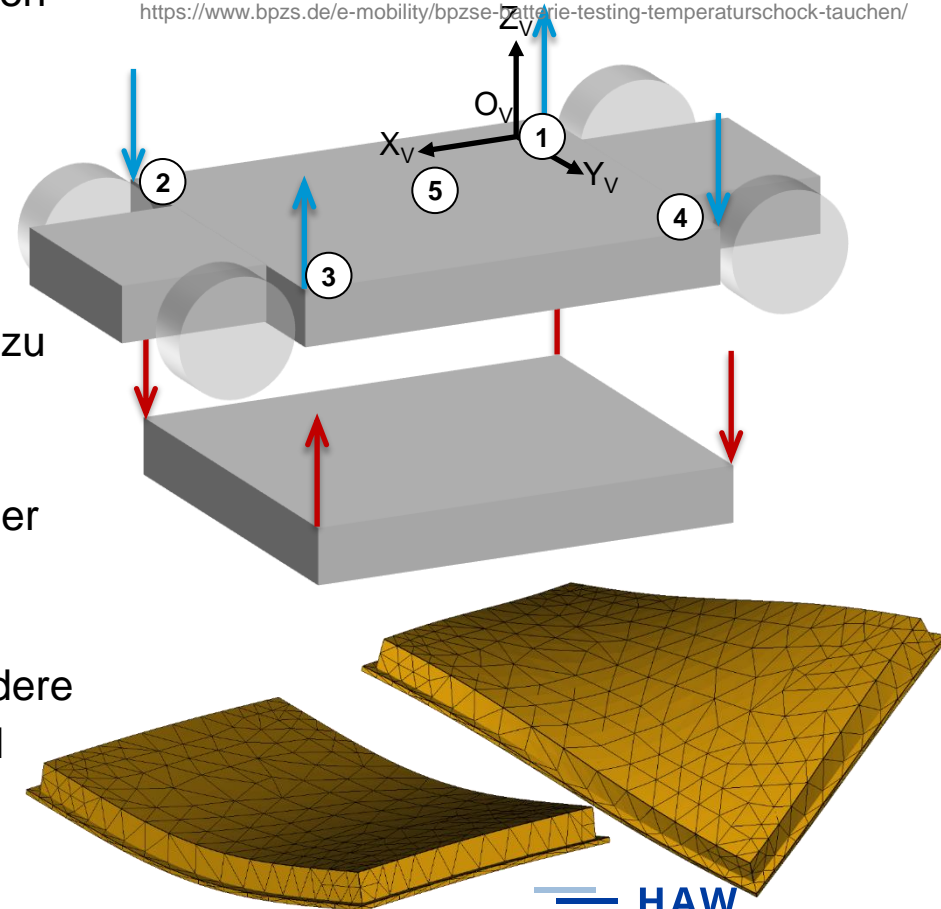
## Elastomechanik und Versagen der Dichtung

Häufige Versagensfall bei Komponentenerprobung von Battery Packs:

- Thermische Tauchprüfung am Ende alle mechanischen, thermischen und elektrischen Tests
- Schadensverlauf:
  - Dichtigkeit ist durch diesen oder vorhergehende Tests nicht mehr gewährleistet,
  - Thermischer Eintauchschock führt zu Unterdruck in Batterie,
  - Wasser wird eingesaugt
  - Isolationsverlust führt zu thermischer Erwärmung
  - chemische/thermische Reaktion
- Dabei sind Torsion und Biegung, insbesondere mit Resonanzüberhöhung bislang nicht Teil der Vorbehandlung
- Nicht konservativ!?



<https://www.bpzs.de/e-mobility/bpzsse-batterie-testing-temperaturschock-tauchen/>

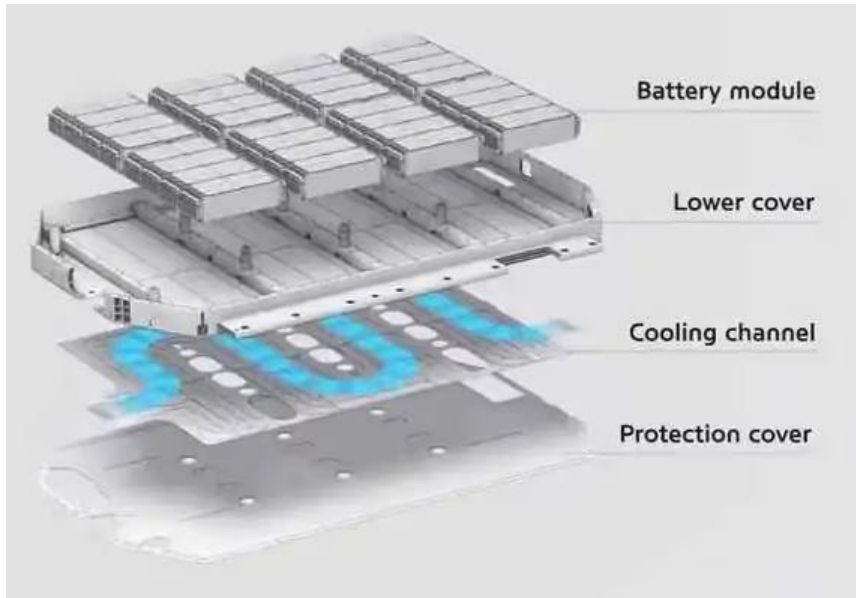
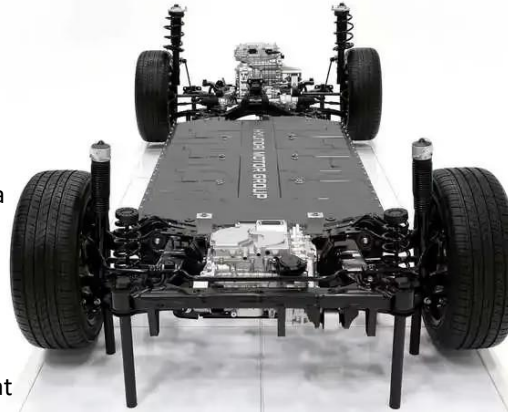


# AUFBAU BATTERY PACKS

## Hyundai Ioniq 5

Hyundai Motor Group's E-GMP battery (SK Innovation) in brief:

- 800 V system (indicatory value)
- 12 lithium-ion pouch cells per module
- 2.42 kWh per module and over 200 Wh per cell  
we assume that at least initially, all the cells/modules are the same in all versions
- up to 32 modules per pack (Hyundai Ioniq 5 / Kia EV6 / Genesis GV60)
- Battery options:  
58 kWh: 24 modules (288 cells)  
72.6 kWh: 30 modules (360 cells)  
77.4 kWh: 32 modules (384 cells)
- 80% recharge should be possible in 18 minutes at ultra-fast chargers (800 V)



<https://insideevs-com.cdn.ampproject.org/c/s/insideevs.com/news/539940/hyundai-ioniq5-battery-pack-opened/amp/>

Fakultät Technik und Informatik  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

HAW  
HAMBURG

# AUFBAU BATTERY PACKS

## KIA Niro 2019

- Usable energy = 64.8 kWh (total = 68 kWh)
  - Usable Window = 95.3%
- Nominal Voltage = 356 V
- Nominal Capacity = 180.9 Ah
- Configuration = 98s3p
- Peak Power = 150 kW<sub>10s</sub>



<https://www.batterydesign.net/2019-kia-niro/>

# AUFBAU BATTERY PACKS

VW ID MEB



<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/powerful-battery-systems-from-braunschweig-volkswagen-group-components-fires-up-the-next-production-stage-7004>

**Fakultät Technik und Informatik**  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

 **HAW  
HAMBURG**

# AUFBAU BATTERY PACKS

## Tesla Model Y

- hoch integriertes Battery Pack
- Gussstrukturen für vordere und hintere Aufhängung
- Crashstrukturen teilweise in Pack integriert
- Konsolen von Vordersitze in Battery Pack integriert



**Fakultät Technik und Informatik**  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

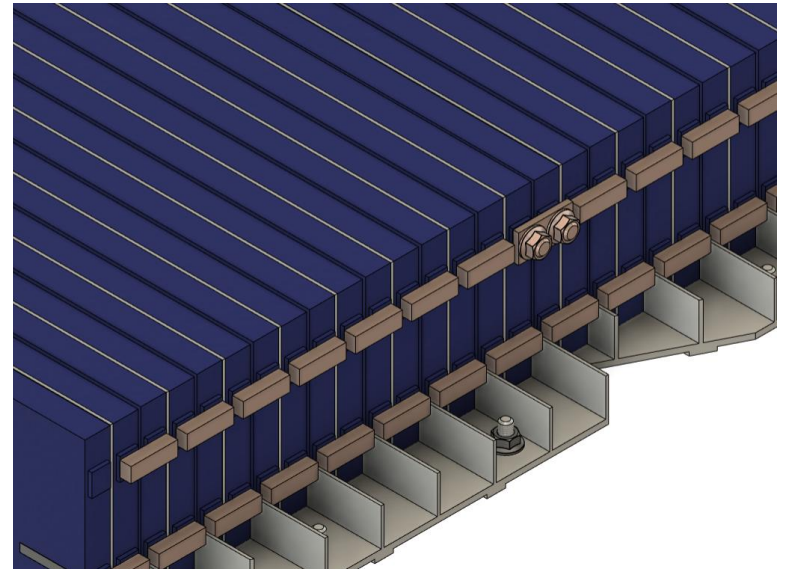
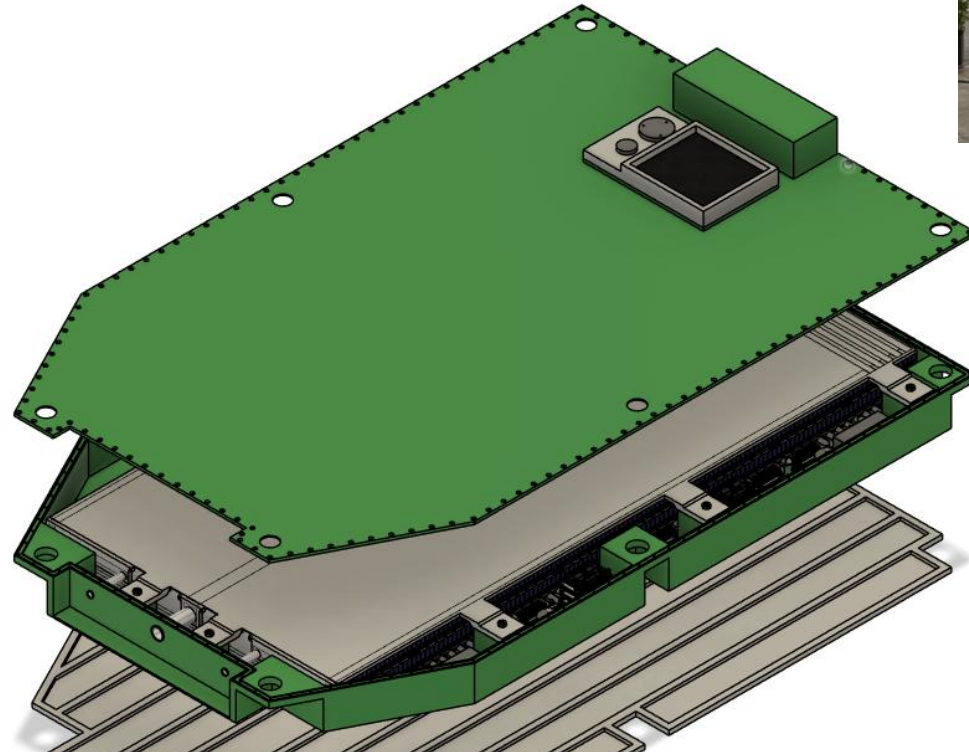
Ideenexpo Hannover





# AUFBAU BATTERY PACKS

Eigenentwicklung LFP Blade Cell Pack für Hamburg Concept Car



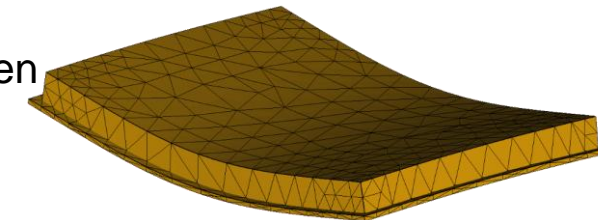
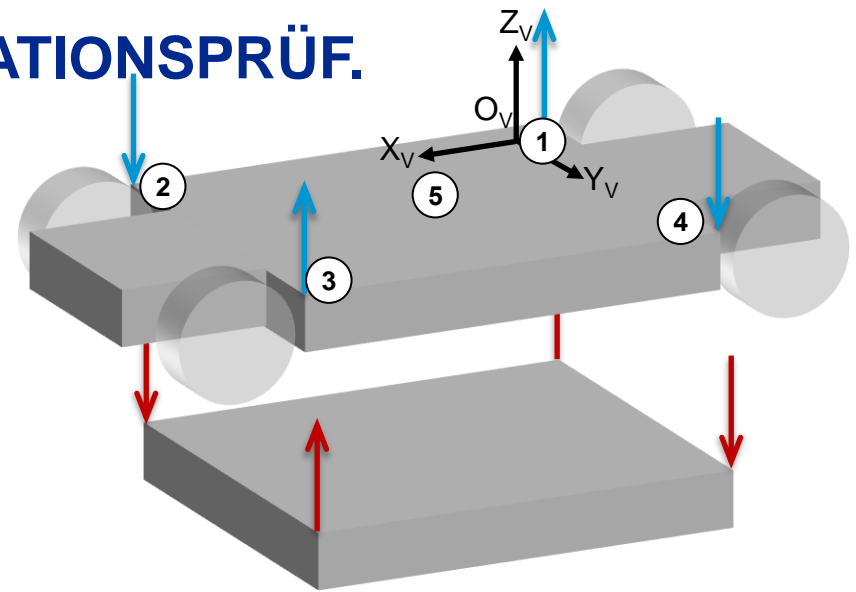
# ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜF.

## Elastomechanik und Versagen

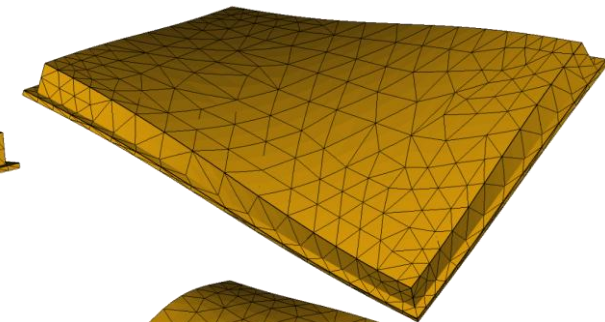
- Die überwiegende Anregung der Batterie kommt aus der Fahrzeug-Boden-Interaktion

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

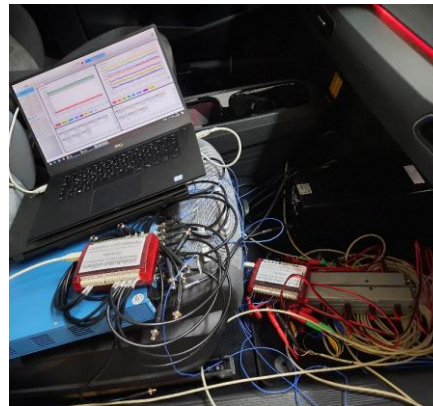
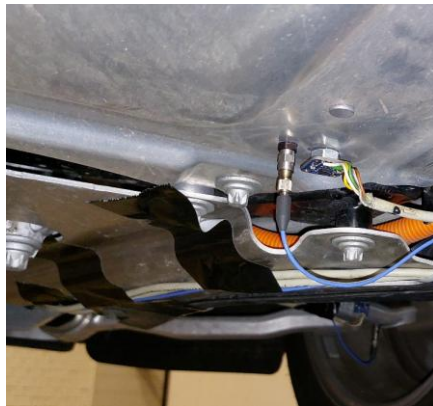


Globale Torsion und lokale Eckverformung

# BEV STRUCTURAL DYNAMICS

## measurement campaigns

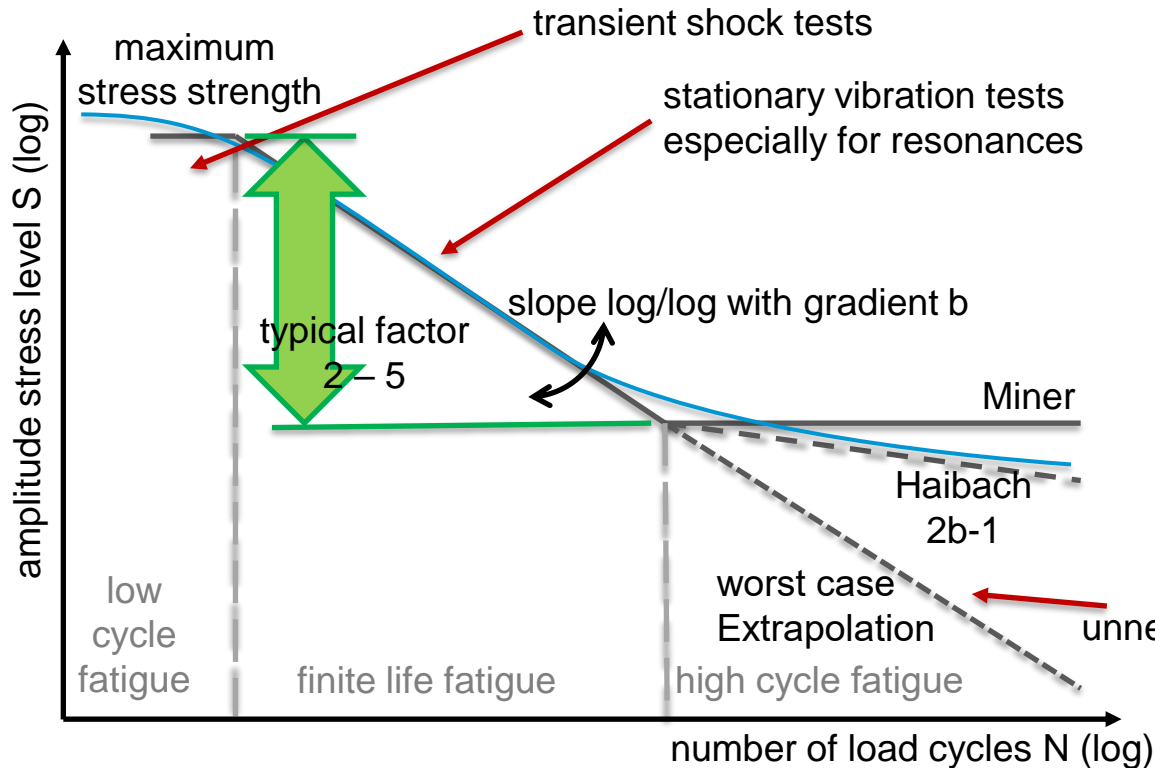
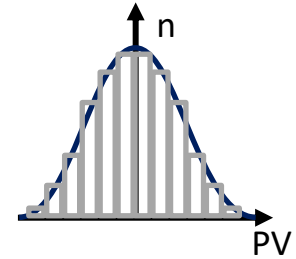
### BEV Structural dynamics



# ANFORDERUNGEN RESS VIBRATIONSPRÜFUNGEN

## Fatigue Damage Spectrum – fatigue analysis in vibration testing

- real excitations characterized not only by level but also by distribution
- fatigue analysis used accumulated stress damages with load cycles



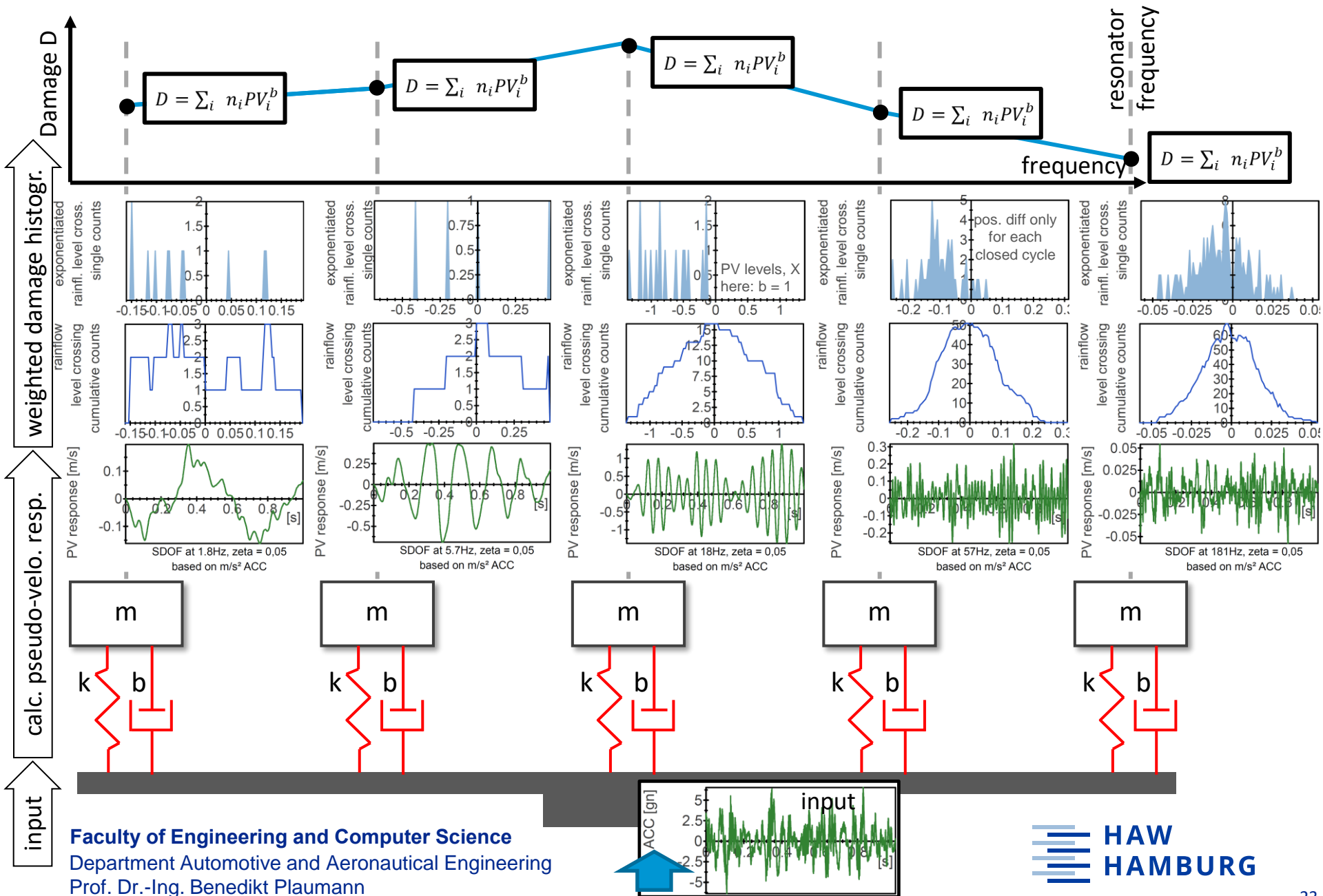
considered damage incidents

- $b = 5$  for welded aluminum (5XXX, 6XXX)
- $b = 5$  for copper leads
- $b = 2$  for solder (lowest)

damage incidents not considered here

- sealing
- heat transfer materials

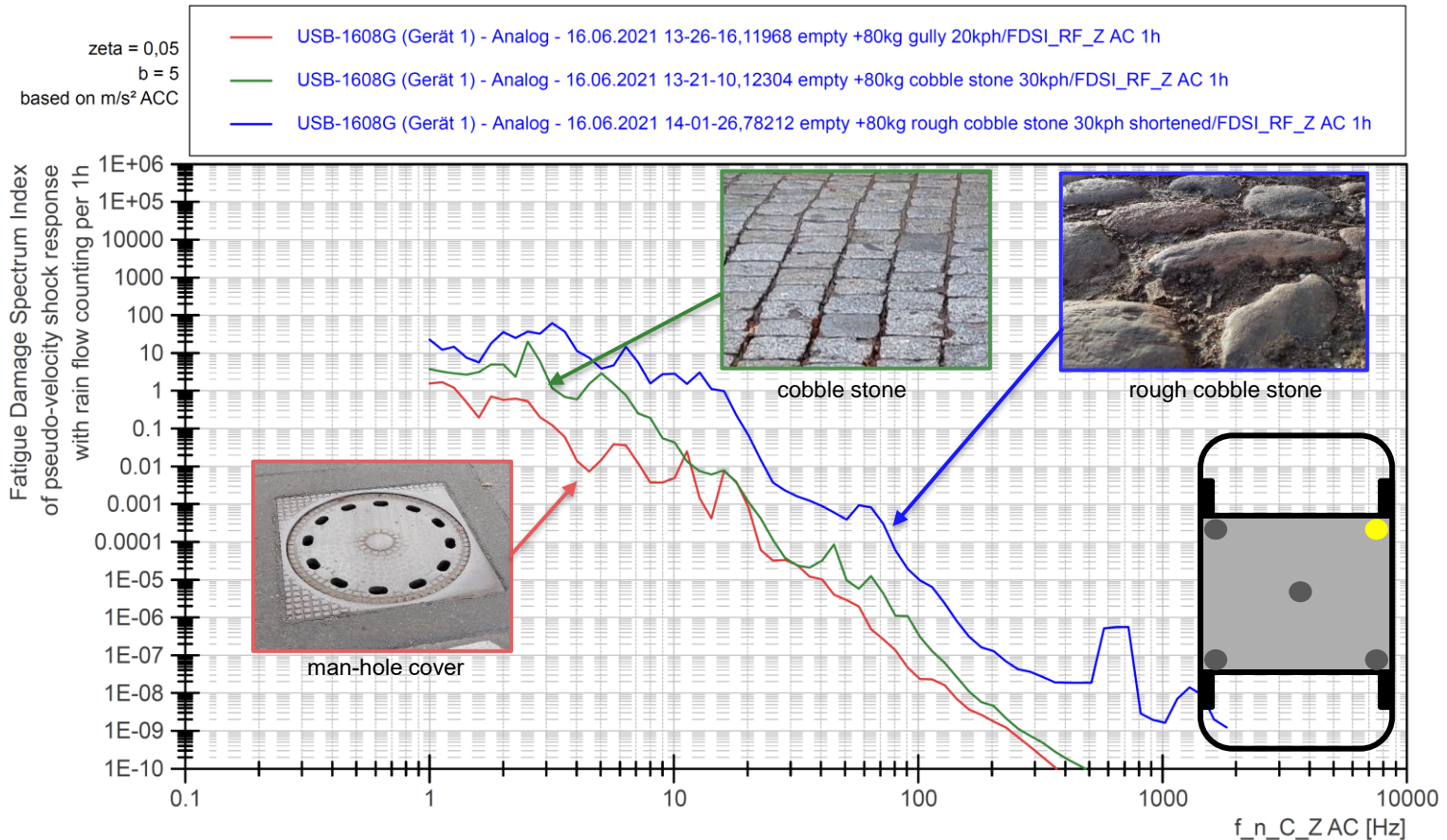
# BEV STRUCTURAL DYNAMICS - FDS



# LARGE RESS VIBRATION TESTING REQUIREMENTS

## VW ID3 Fatigue Damage Spectrum

- FDS of the right front (RF) corner of the battery pack with
- Wöhler-curve exponent of 5 and 5% damping

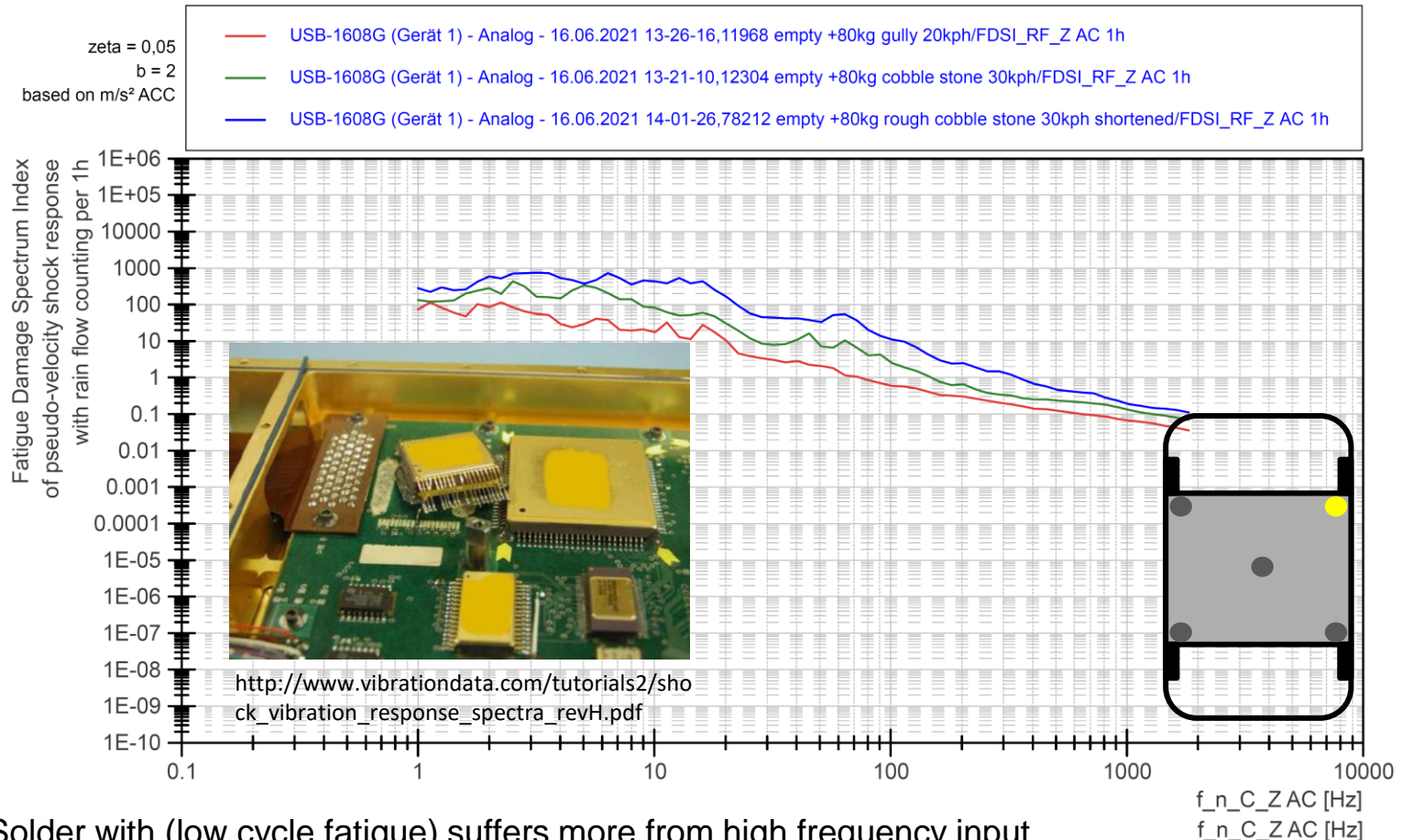


- Fatigue damage calculated to 1h of exposure is highest from rough cobble stone track

# LARGE RESS VIBRATION TESTING REQUIREMENTS

## VW ID3 Fatigue Damage Spectrum

- FDS of the right front (RF) corner of the battery pack with
- Wöhler-curve exponent of 2 and 5% damping

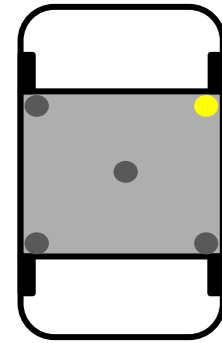
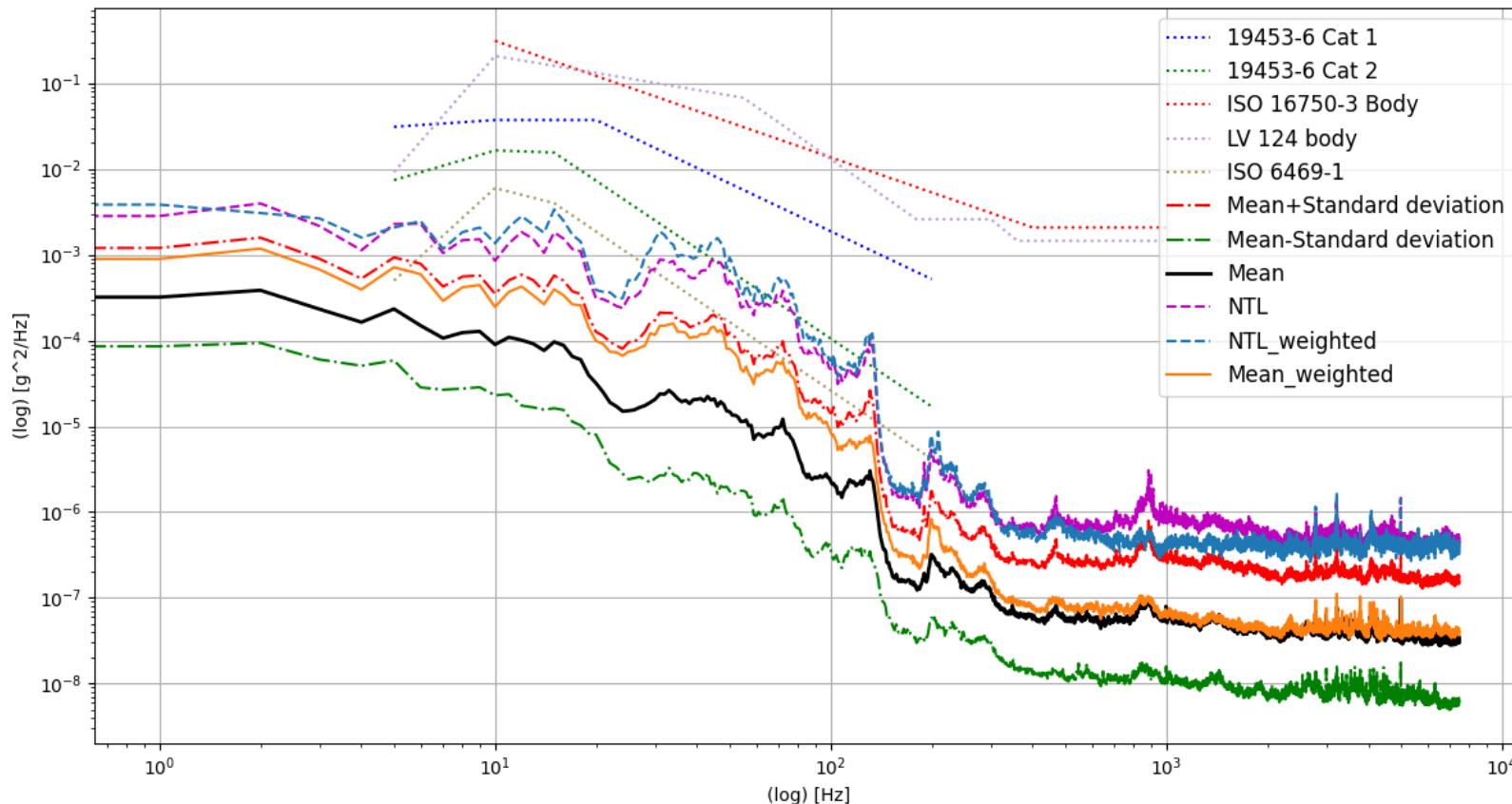


- Solder with (low cycle fatigue) suffers more from high frequency input
- For SDOF RMS < 1 (as for ground acceleration in [m/s]): higher frequencies rotated upwards

# VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

## preliminary results VW ID3, BMW i3 load profile

- 80% good road
- 20% bad road (10% cobble stone, 10% rough cobble stone)
- good road < infinite life





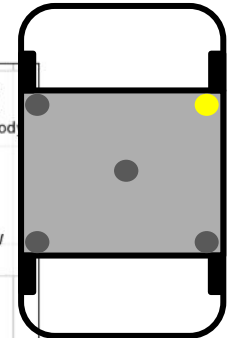
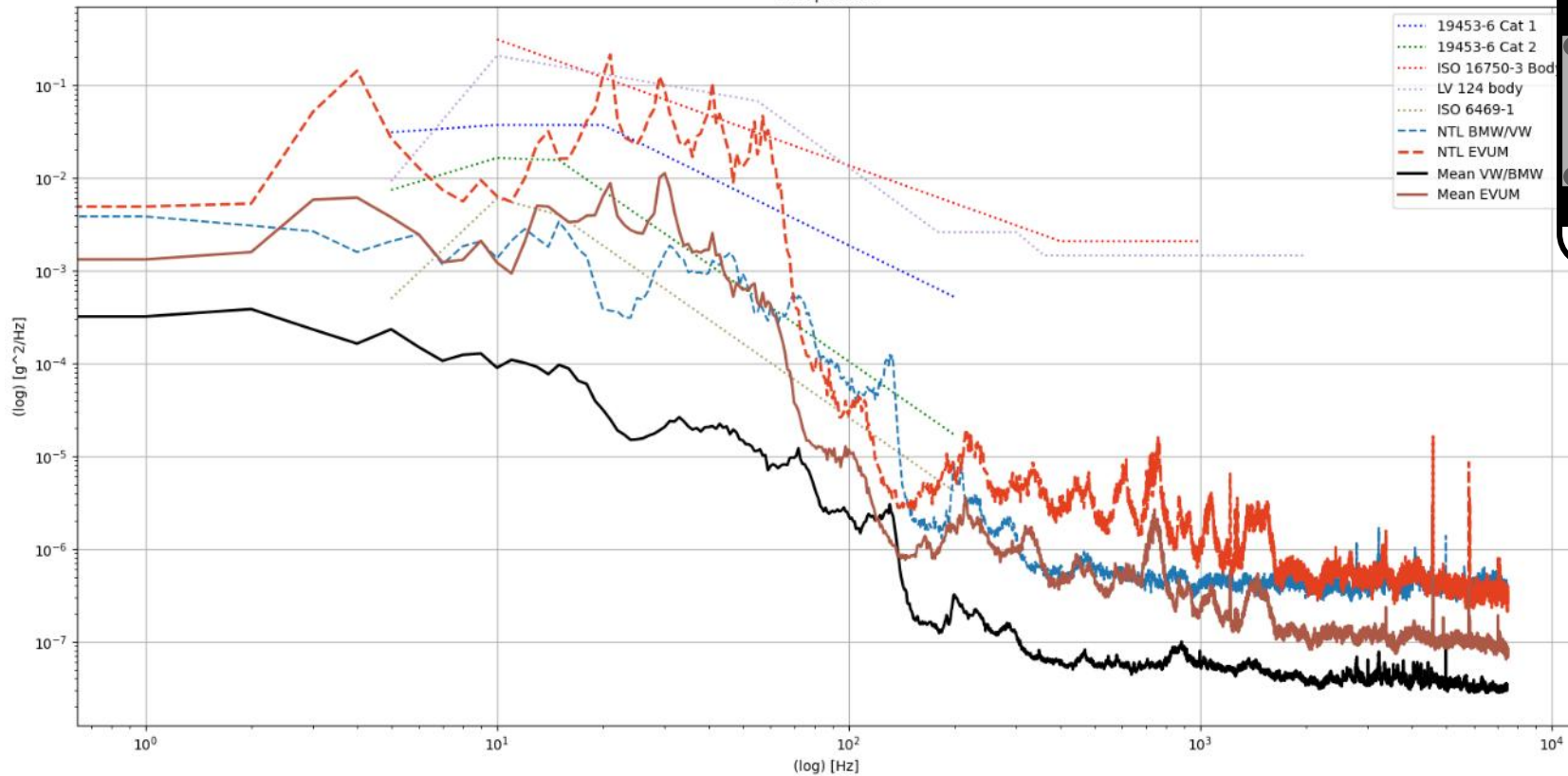
# VIBRATIONSBELASTUNGEN AUF BATTERY PACKS

## 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



# BEV STRUCTURAL DYNAMICS

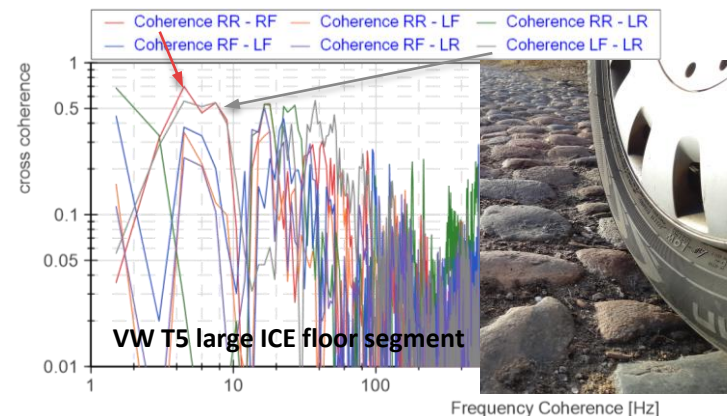
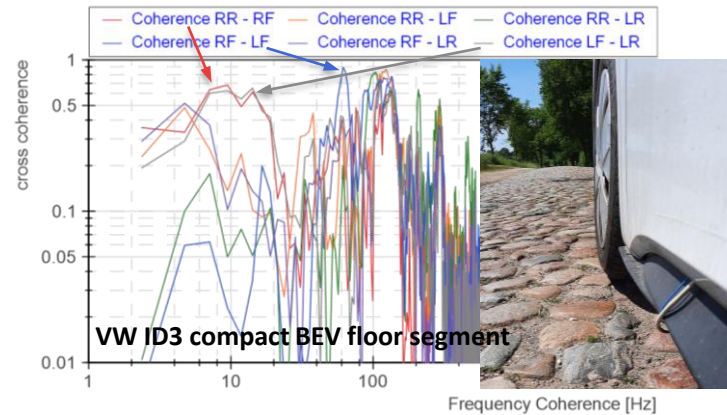
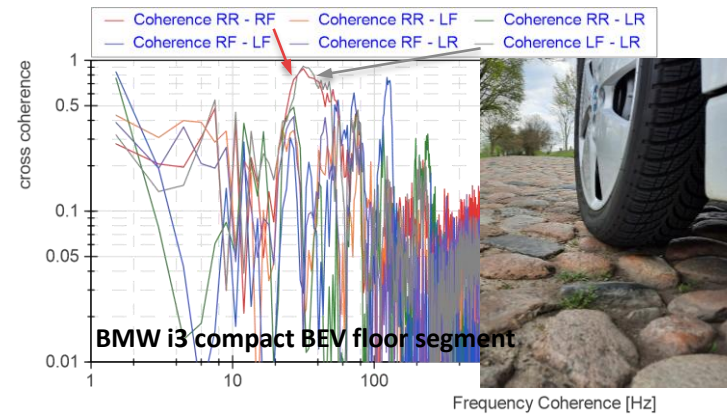
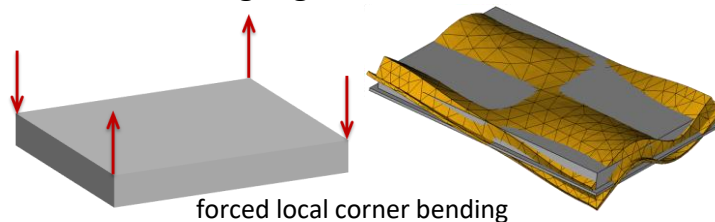
## pre studies forced local corner bending floor segment

### results in short

- Eckpunkte zeigen stark unterschiedliche Kohärenz
- Völlig unkorrelierte Anregung nicht realistisch
- Völlig steife, identische Anregung nicht realistisch

### Lessons Learned for battery pack component testing:

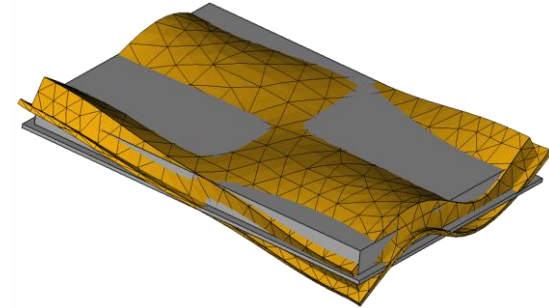
- Steife, gleiche Anregung untertestet möglicherweise globale Biegung in großen, eigentlich frei schwingenden und nun versteiften Flächen und Torsion, aber übertestet lokale Resonanzen in Biegung durch hohen Gleichgang
- Gleiche, biegeweiche 4-Punktanregung übertestet möglicherweise globale Biegung und untertestet Torsion und Ecken.
- Völlig unkorrelierte 4-Punkt-Anregung übertestet möglicherweise Torsion, aber untertestet lokale Resonanzen und Biegung in großen frei schwingenden Flächen durch fehlenden Gleichgang



# BEV STRUCTURAL DYNAMICS

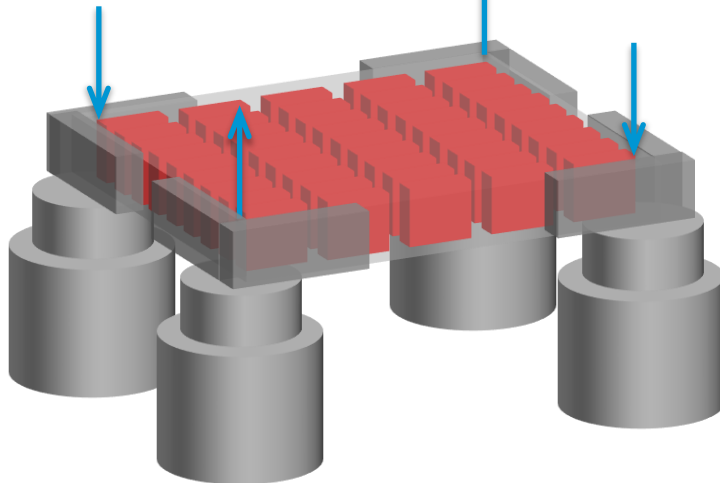
## Interaktion zwischen Komponente Battery Pack und Fahrzeug

- Ziel: Komponententest des Battery Packs unter realitätsnahen Vibrationsanregungen
- Komponente Battery Pack schwingt im Einbauzustand nicht frei, sondern interagiert mit Fahrzeug



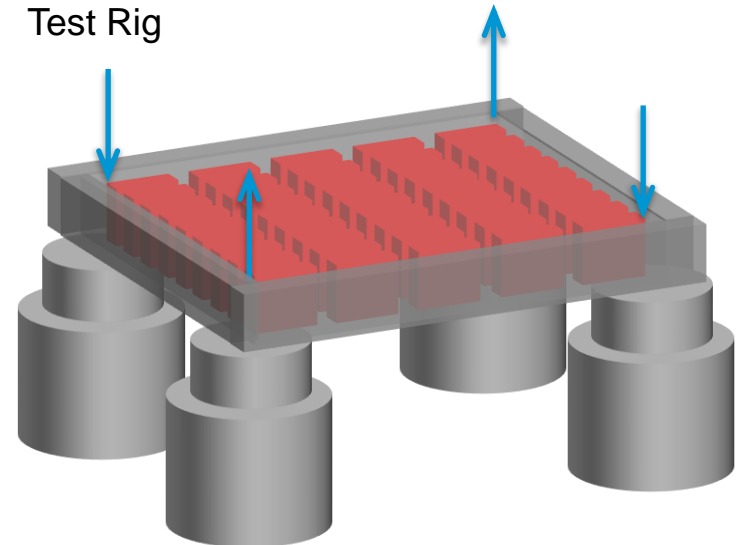
### Lösung 1:

- Lokale Krafteinleitung nicht punktförmig, sondern lokal verteilt und nur lokal versteifend
- Globale Steifigkeit mit Fahrzeug aus Regelung?



### Lösung 2:

- Global versteifend
- Konstruktive Anpassung an Fahrzeugsteifigkeit in Test Rig



# 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.