



Hauptbericht

Autoren:

Prof. Dr. Max Stöck (Technische Mechanik)

Roger Strässle (Normenwesen)

Rouven Christen (Auswertung Messdaten)

Alfred Gadola (Messtechnik)

NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs
NTB Campus Buchs
Werdenbergstrasse 4
CH-9471 Buchs

INHALTSVERZEICHNISS

1	AUFGABENSTELLUNG	3
2	ZUSAMMENFASSUNG DER PROJEKTERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN	4
3	MESSAUFBAU	7
3.1	DEFINITION DER AXSEN	7
3.2	POSITION DER SENSOREN	7
3.2.1	<i>Vorne Motor</i>	8
3.2.2	<i>Vorne bei Dämpfer</i>	8
3.2.3	<i>Hinten Links</i>	9
3.2.4	<i>Hinten Rechts</i>	9
3.2.5	<i>Datenerfassung</i>	10
4	GEMESSENE FAHRSITUATIONEN	10
5	AUSWERTUNGSGRUNDLAGEN	11
5.1	KUHN MESSUNGEN.....	11
5.1.1	<i>Auswertung Kuhn Daten</i>	11
5.1.2	<i>Betrachtung Batterie</i>	11
5.2	AUSWERTUNG AUF BASIS DER WÖHLERLINIE	12
6	AUSWERTUNG	13
6.1	VIBRATIONEN VERBRENNUNGSMOTOR UND VIBRATIONSTILGUNG DER DÄMPFER.....	13
6.2	DAUERFESTIGKEIT (FAHREN).....	14
6.2.1	<i>Messungen</i>	14
6.2.2	<i>Vergleich mit den Normen</i>	16
6.3	ZEITFESTIGKEIT (SHOCK)	16
6.3.1	<i>Beladen</i>	17
6.3.2	<i>Entladen</i>	18
6.3.3	<i>Vollbremsung</i>	19
6.3.4	<i>Shocks während der Fahrt</i>	20
6.4	ZUSAMMENFASSUNG SHOCKS	22
6.5	CRASH (IMPULS, SHOCK).....	23
6.6	ZUSAMMENFASSUNG DER BESCHLEUNIGUNGS-AUSWERTUNGEN	24
7	QUETSCHEN VON BATTERIEN	25
7.1	VORSCHLAG E-DUMPER.....	25
8	UMWELTEINFLÜSSE	25
8.1	PRÜFUNG SONNENBESTRAHLUNG NACH VW 80000	25
8.2	PRÜFUNG SONNENBESTRAHLUNG – WEITERE NORMEN.....	26
8.3	DRUCKAUSGLEICH.....	26
8.3.1	<i>Langsame Druckänderung</i>	26
8.3.2	<i>Schnelle Druckänderung</i>	26
8.4	EMPFEHLUNGEN FÜR DEN E-DUMPER	26
9	DICHTHEIT	27
10	SCHUTZMASSNAHMEN BEI GAS-BILDUNG	28
11	SCHUTZMASSNAHMEN IM BRANDFALL	28

1 Aufgabenstellung

Für die Auslegung des Batteriespeichers wurde eine Evaluation der Umgebungs- und Einbauanforderungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten mittels transient dynamischer Messung der auftretenden mechanischen Belastungen.

Im Umfang dieses Arbeitspakets wurden folgende Leistungen erbracht:

- (1) Literaturstudie über gesetzliche Anforderungen, Stand der Technik und „best practice“ bzgl. Umweltbedingungen (mechanische und thermische Beanspruchungen, Vibrationen und Dichtheit) für den Betrieb elektrischer Geräte in Bau- und Nutzfahrzeugen
- (2) Evaluation geeigneter Messsysteme (Vibrationen und Temperatur) und eines Konzeptes für die Datenerfassung am Fahrzeug
- (3) Aufbau Messsystem mit Sensorik, Messdatenerfassung und Erstellung einer angepassten Messsoftware
- (4) Durchführung der Messung vor Ort am Dumper im Einsatz. Anschliessende Auswertung und Bestimmung der mechanischen Belastungen
- (5) Festlegen eines Lastenhefts für die mechanische und thermische Auslegung und sonstiger Umwelteinflüsse. Mechanische Konstruktionsparameter bestimmen und Ableiten mechanischer Grenzwerte aus den Messungen am Fahrzeug

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, relevante Kenngrössen zu bestimmen um die mechanisch konstruktiven Parameter wie Einbaulage, max. Grösse, Zugänglichkeit und mechanische Festigkeit für die Batterie festzulegen.

2 Zusammenfassung der Projektergebnisse und Empfehlungen

Beschleunigungen und Batterie-Festigkeit

Anhand der Auswertung der Messungen direkt am arbeitenden HD605 Dumper, konnte eine spektrale Leistungsdichte (Dauerfestigkeit) und Abschätzungen über Maximalbelastungen (Kurz- und Zeitfestigkeit) erstellt werden (Siehe Kapitel 5). In den Normen werden Versuche für starke Shock- (50g aus Transportnormen) und Random-Tests (3.14 g_{rms} aus Fahrzeugnormen) beschrieben. Es wird empfohlen bei der Entwicklung der Batterie die 50g Shock-Tests für den Transport zu beachten.

Auslegung der Batterie im FEM und Nachweis gemäss FKM

Für die FEM (Finite-Elemente-Methode) Simulation werden die verschiedenen Belastungen (siehe unten) einzeln statisch simuliert und ausgewertet.

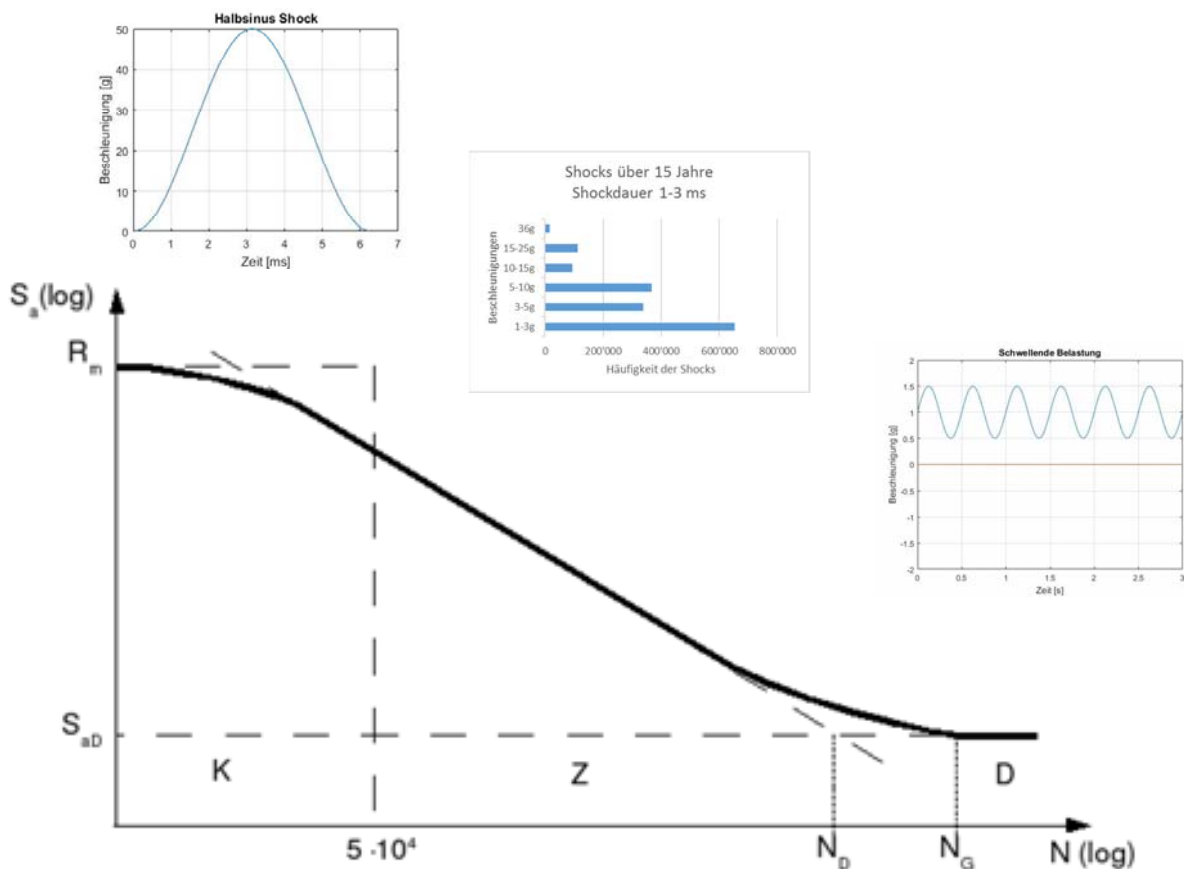


Abbildung 1: Zusammenfassung der Belastungen am Dumper für die Auslegung der Festigkeit und für Teilversuche an der Batterie

Für den rechnerischen Festigkeitsnachweis (FKM) nach den FEM werden die verschiedenen Belastungen über die Lebensdauer gemäss der Schadensakkumulation zusammengerechnet.

Sicherheitsfaktoren gegenüber Versagen werden während der FKM Rechnung durchgeführt.

Nachweis der Festigkeit kritischer Komponenten auf dem Shaker

Nach der Auslegung/Überprüfung der Batterie mit FEM und FKM sollten kritische Teile hergestellt und auf einem Shaker untersucht/nachgewiesen werden. Für Versuche werden Random- (aus Messdaten erstellt) und Shock-Tests (50g 6 ms gemäss Transportnormen) empfohlen.

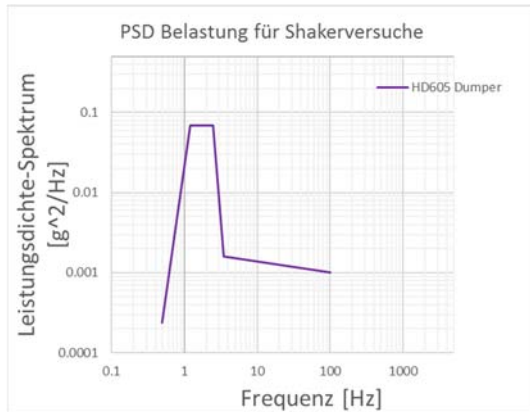


Abbildung 2: Random-Profil für Langzeittests

Tabelle 1: Tabellarische Daten des PSD Profils

Random-Profil aus Messdaten erstellt und mit Normen Verglichen	
Frequenz [Hz]	PSD [g ² /Hz]
0.5	0.000024
1.2	0.0689
2.5	0.0689
3.5	0.0016
100	0.001
\bar{g}_{rms}	0.2744

Testdauer/ Achse

- 21 h pro Raumrichtung bei einem Prüfling
- 15 h pro Raumrichtung bei zwei Prüflingen
- 12 h pro Raumrichtung bei drei Prüflingen

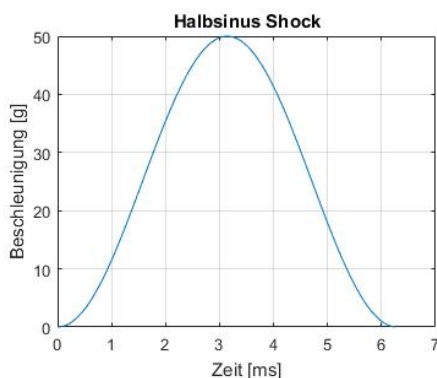


Abbildung 3: Shockprofil aus Transportnormen

Shocktest 50g 6 ms aus der Transportnorm. Es werden 10 Shocks in allen Raumrichtungen jeweils in Plus- und Minusrichtung verlangt (+X,-X, +Y,-Y, +Z,-Z)



Weitere Empfehlungen aus der Normen-Recherche

Quetschen

Seitlich angebaute Batterien können im Falle eines Steinschlages gequetscht werden. In Kapitel 7 werden zwei verschiedene Steinschlag-Stufen beschrieben.

Es sollte ebenfalls darauf geachtet werden, dass alle Komponenten um und an der Batterie begehbar sind.

Thermische Betrachtung

Um eine maximale Lebensdauer der Zellen zu gewährleisten, sollten diese aktiv gekühlt bzw. beheizt werden können. Es wird ebenfalls empfohlen das thermische Verhalten der Batterie im abgeschalteten Zustand zu betrachten (z.B. Treibhauseffekt). Siehe Kapitel 8.1

Druckausgleich

Mögliche Druckänderungen in der Batterie (Kapitel 8.3), die durch thermische-, Wetter- und Höhenänderungen oder Feuer zustände kommen, müssen ausgeglichen werden können.

Dichtheit

Das Gehäuse sollte die IP6k6k IP6k9k Schutzklasse aufweisen (siehe Kapitel 9). Dies bedeutet Tauch- und Kärcher Dampfreiniger dicht.

Wird das Gehäuse gequetscht, sollte die Batterie dennoch dicht bleiben.

Schutz bei Gasbildung

Beim Austritt von Zellenchemie soll gemäss Kapitel 10 darauf geachtet werden, dass sich keine gefährlichen Gasansammlungen bilden können.

Schutzmassnahmen im Brandfall

Im Havariefall muss unbedingt dafür gesorgt werden, dass keine Personen zu Schaden kommen. Hierzu die Empfehlungen aus Kapitel 11.

- Es dürfen keine offenen Feuer sichtbar sein (Brand muss im Batteriegehäuse bleiben)
- Gase sollen über eine Berstscheibe kontrolliert an einen sicheren Ort abgeführt werden
- Falls Personen beim Flüchten über die Batterie laufen müssen, dürfen diese Oberflächen nicht übermässig warm werden
- Die Fluchtwege müsse freibleiben

Damit die Batterie bei Wartungsarbeiten entschärft werden kann, sollten zusätzlich zu den Hauptschützen, Service Disconnect Stecker vorgesehen werden.

3 Messaufbau

3.1 Definition der Achsen

Die Sensoren wurden an 4 Messstellen angebracht. Links/Rechts bezieht sich auf die Fahrtrichtung des Dumpers.

VM: Vorne Motor	Vorne Rechts auf einem Träger des Motors
VD: Vorne bei Dämpfer	Vorne auf dem Chassis in der Nähe eines Motordämpfers
HL: Hinten links	Hinten in der Nähe einer Befestigungsschraube für die Hydraulik
HR: Hinten rechts	Hinten in der Nähe einer Befestigungsschraube für den Dieseltank

Die genauen Positionen werden im nächsten Kapitel mit Fotos besser beschrieben.

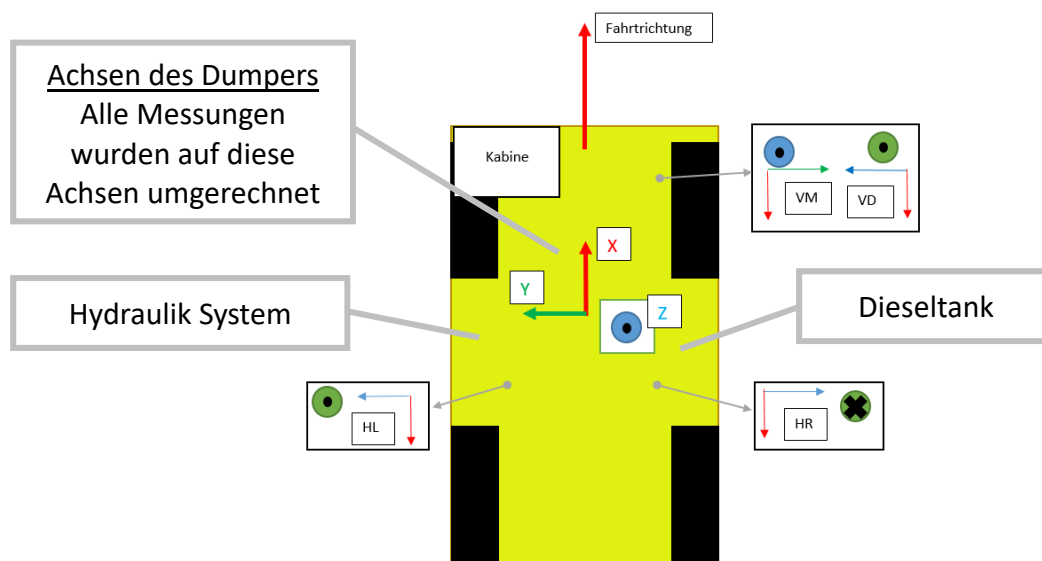


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Dumpers mit Koordinatensystem und Sensoren-Positionen

Die Fahrtrichtung des Dumpers bildet die positive X-Achse. Die Y-Achse steht quer zum Dumper wobei die positive Richtung nach links zeigt. Die positive Z-Achse zeigt vertikal nach oben.

Die Achsen der Sensoren stimmen bei den Rohdaten nicht mit jenen des Dumpers überein. Bei der Auswertung wurden diese in das globale Koordinatensystem des Dumpers transformiert. So kann die Auswertung der Resultate einfacher durchgeführt werden.

3.2 Position der Sensoren

Auf jeder Messstelle wurden jeweils 2 Sensoren platziert. Ein Sensor für kleine und ein Sensor für grosse Beschleunigungen. Je nach auftretenden Beschleunigungswerten wurde am geeigneteren Sensor gemessen.

3.2.1 Vorne Motor

Hinter dem Rad wurde ein Schutzblech entfernt um an den Motorenträger ranzukommen.

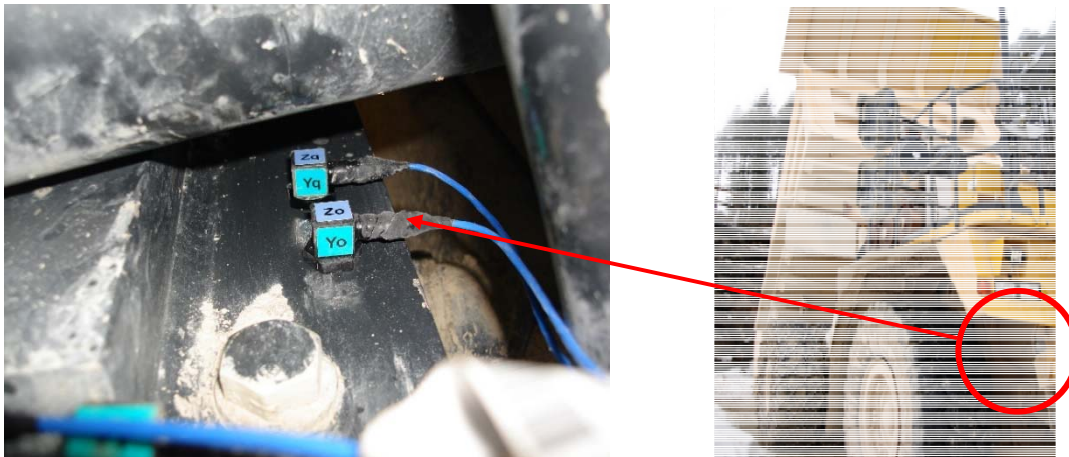


Abbildung 5: Sensorposition auf dem Motorenträger

Sensor o: Triaxial PCB Typ. 356A17 ±10 g S/N 194947

Sensor q: Triaxial PCB Typ. 356A25 ±200 g S/N 195976

3.2.2 Vorne bei Dämpfer

Am Chassis, neben der Motoraufhängung wurden die Vibrationen ebenfalls aufgenommen. Dies erlaubt unter anderem Rückschlüsse zum Verhalten des Dämpfers.

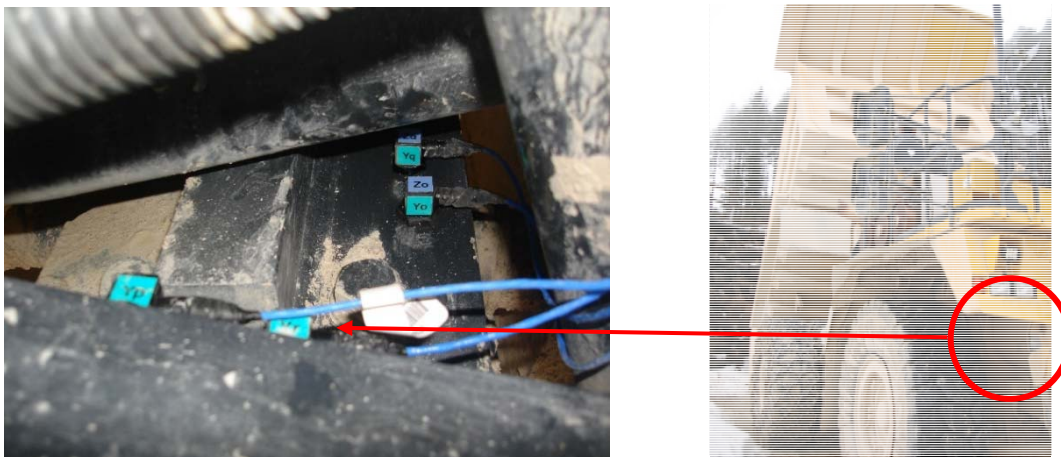


Abbildung 6: Sensorposition vorne auf dem Chassis

Sensor p: Triaxial PCB Typ. 356A17 ±10 g S/N 194948

Sensor r: Triaxial PCB Typ. 356A25 ±200 g S/N 195977

3.2.3 Hinten Links

Diese Position der Sensoren wurde gewählt um die Vibrationen bei den Anbindungspunkten der zukünftigen Batterie zu erfassen.



Abbildung 7: Sensorposition hinten links bei der Hydraulik

Sensor C:	Triaxial	PCB Typ. 356B18	±5 g	S/N 123643
Sensor M:	Triaxial	PCB Typ. 356A26	±100 g	S/N 179970

3.2.4 Hinten Rechts

Diese Position der Sensoren wurde gewählt um die Vibrationen bei den Anbindungspunkten der zukünftigen Batterie zu erfassen.



Abbildung 8: Sensorposition hinten rechts beim Dieseltank

Sensor D:	Triaxial	PCB Typ. 356B18	±5 g	S/N 123644
Sensor N:	Triaxial	PCB Typ. 356A26	±100 g	S/N 180144

3.2.5 Datenerfassung

Die Daten wurden mit einem National Instruments USB cDAQ (NI-9178) und 3 ICP Messmodulen mit jeweils 4 Kanälen (NI-9234) gemessen.

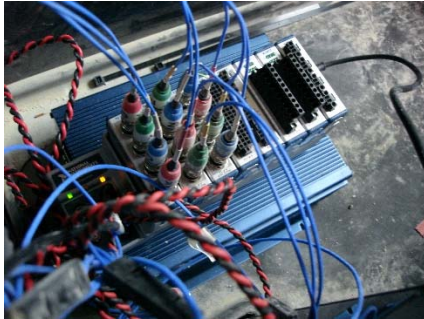


Abbildung 9: cDAQ mit Messmodulen

Um die Messungen durchführen und live betrachten zu können wurde ein entsprechendes LabVIEW-Programm erstellt.

4 Gemessene Fahrsituationen

- Normalbelastungen
 - o Motor im Leerlauf; stehendes Fahrzeug; Mulde leer
 - o Motor ca. 1800 U/min; stehendes Fahrzeug; Mulde leer
 - o Motor Sweep Leerlauf-Vollgas; stehendes Fahrzeug; Mulde leer
 - o Fahren aufwärts; Mulde leer
 - o Fahren aufwärts; Mulde voll
 - o Fahren abwärts; Mulde leer
 - o Fahren abwärts; Mulde voll
- Extrembelastungen
 - o Vollbremsung abwärts; Mulde leer
 - o Vollbremsung abwärts; Mulde voll
 - o Beladen
 - o Entladen

5 Auswertungsgrundlagen

5.1 Kuhn Messungen

Die KUHN Schweiz AG hat über 2 Jahre Messungen an einem KOMATSU HD605 Dumper durchgeführt. Diese Messungen beinhalten die durchgeführten Fahrten des Dumpers.

5.1.1 Auswertung Kuhn Daten

Es wurde der Mittelwert für ein Jahr berechnet.

Tabelle 2: Durchschnitts-Leistung über 1 Jahr Dumper

Fahren leer	412 h/ Jahr
Fahren beladen	447 h/ Jahr
Beladen	3185 / Jahr (jeweils 4 Schaufeln)
Entladen	3185 / Jahr

Die Motorenlaufzeit beträgt ca. 1100 h/ Jahr. Der Dumper wird nach ca. 15'000 - 20'000 Stunden revidiert. Somit wird dieser alle 15-20 Jahre einer Generalüberholung unterzogen. Mit diesen Angaben wird später geprüft, wie oft welche Belastungen über die Lebensdauer (bis zur Revision) des Dumpers auftreten und wie die Batterie ausgelegt werden muss/soll.

5.1.2 Betrachtung Batterie

Der Dumper macht 3185 Ladezyklen/ Jahr, was über einen Zeitraum von 15-20 Jahre 48'000-64'000 Fahrzyklen ergibt. Bei ca. 16 Fahrten pro Tag ergeben daraus sich 3000 bis 4000 Lade- / Entladezyklen der Batterie. Hier sollte unbedingt geprüft werden welchen Zustand die Zellen der Batterie haben, da diese eventuell früher gewartet/gewechselt werden muss.

5.2 Auswertung auf Basis der Wöhlerlinie

Nachstehende Auswertung zielt darauf, die Batterie bei der Entwicklung mittels Simulation auslegen zu können. Dies wird auf Grundlage der FKM Richtlinie «Festigkeitsnachweise für Stahl- und Aluminium-Werkstoffe» durchgeführt. (FKM = Forschungskuratorium Maschinenbau)

Hierfür werden die Lasten in 3 Kategorien aufgeteilt.

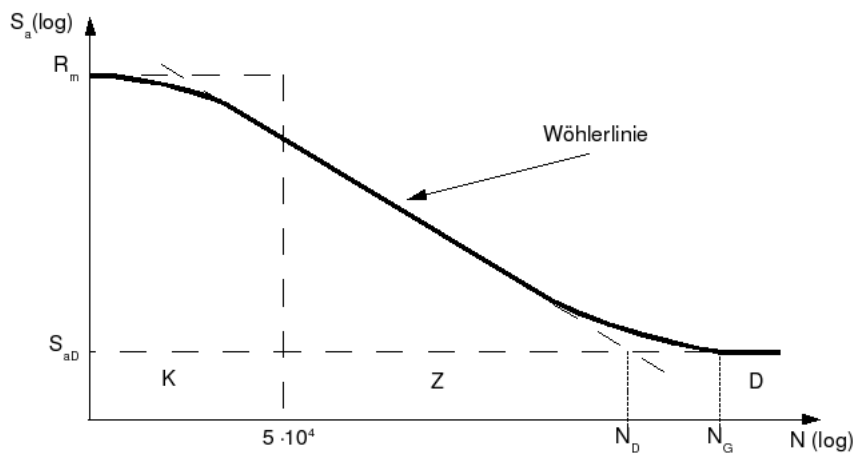


Abbildung 10: Einfache Darstellung der Wöhlerlinie für Stahl- und Aluminium-Werkstoffe

K: Kurzzeitfestigkeit

Vibrationen bei denen die Batterie kurzzeitfest ausgelegt werden soll. Dies gilt für Stösse welche über die Lebensdauer der Batterie nicht öfter als 50'000-mal auftreten. Zudem beinhaltet dies Stösse aus Extremsituationen wie zum Beispiel ein Zusammenstoss von Baggerschaufel und Mulde, bis hin zum Crash.

Z: Zeitfestigkeit

Vibrationen bei denen die Batterie Zeit fest ausgelegt werden muss. Dies gilt für Stösse und Vibrationen die zwischen 50'000 – 1'000'000-mal über die Lebensdauer der Batterie auftreten. Solche Stösse können bei grober Fahrt, wie dem Überfahren einer Kante mit erhöhter Geschwindigkeit auftreten.

D: Dauerfestigkeit

Vibrationen bei denen die Batterie dauerfest ausgelegt werden muss. Dies sind Vibrationen die bei normaler Fahrt und Belastungen (Transport Batterie) auftreten.

6 Auswertung

6.1 Vibrationen Verbrennungsmotor und Vibrationstilgung der Dämpfer

Um die Tilgungswirkung der Dämpfer untersuchen zu können wird die Messung im Stillstand mit einer Motordrehzahl von 1800 U/min und einer typischen Fahrt verglichen.

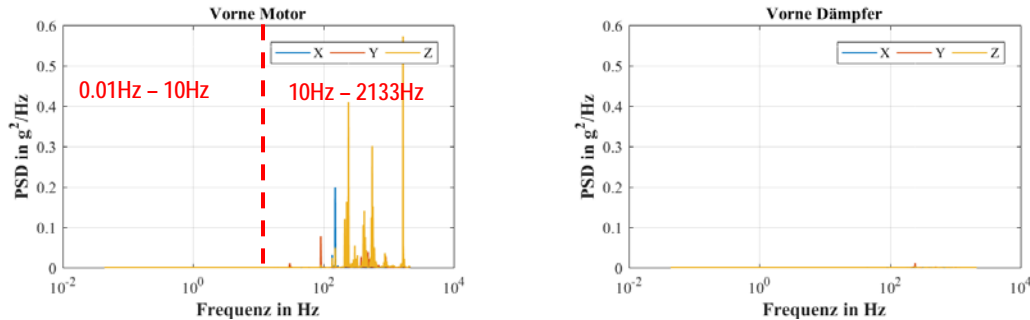


Abbildung 11: Dumper im Stillstand mit laufendem Motor (1800 U/min)

In Abbildung 11 ist ersichtlich dass der Motor im Wesentlichen Frequenzen über 10 Hz anregt. Eine erste Eigenfrequenz in y-Richtung liegt bei ca. 30Hz. Unterhalb von 10 Hz sind keine nennenswerten Anregungen vorhanden. Die Anregungen neben dem Dämpfer auf das Chassis, werden insbesondere in Z-Richtung sehr stark getilgt. Die Beschleunigungsspitzen in y-Richtung werden von 6.8g auf 1.3g (ca. Faktor 5) reduziert.

In z-Richtung sind am Motor besonders hohe Frequenzanteile (>100Hz) mit Beschleunigungsspitzen von über 12g gemessen worden. Diese werden vom Dämpfer sehr stark unterdrückt und sind am Chassis vorne um ca. Faktor 17 kleiner.

In x-Richtung sind die Beschleunigungen bei Stillstand am kleinsten. Mit RMS-Werten von <0.1g am Chassis, respektive 1.2g am Motor liegen diese um ca. Faktor 2-3 unter den Werten der anderen Richtungen.

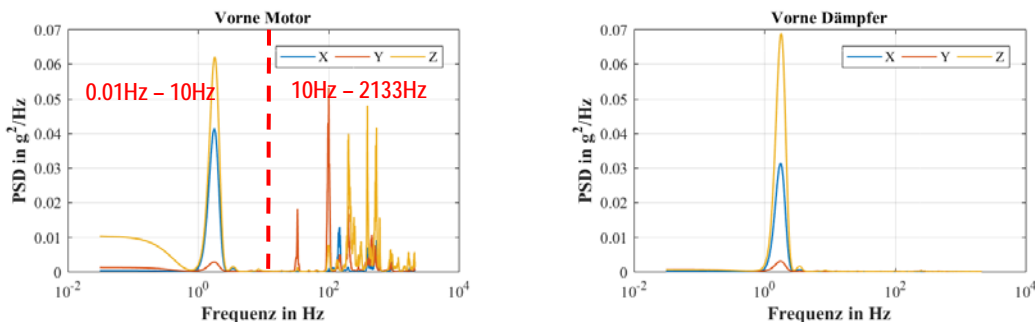


Abbildung 12: Dumper fährt vollbeladen abwärts

Beim Fahren ist ersichtlich, dass die Frequenzen oberhalb von 10 Hz in etwa dieselben sind wie im Stillstand. Sie sind zum Teil stärker ausgeprägt da der Motor nun Drehmoment liefern muss. Ausserdem treten nun bedingt durch die Fahrt auch Beschleunigungen unterhalb von 10 Hz auf. In der nachfolgenden Auswertung werden nur Frequenzen unter 10 Hz betrachtet, da diese nachweislich durch die Bewegungen des Fahrzeuges hervorgerufen werden.

6.2 Dauerfestigkeit (Fahren)

6.2.1 Messungen

Die grössten Belastungen treten im vollbeladenen Zustand beim Abwärtsfahren auf.

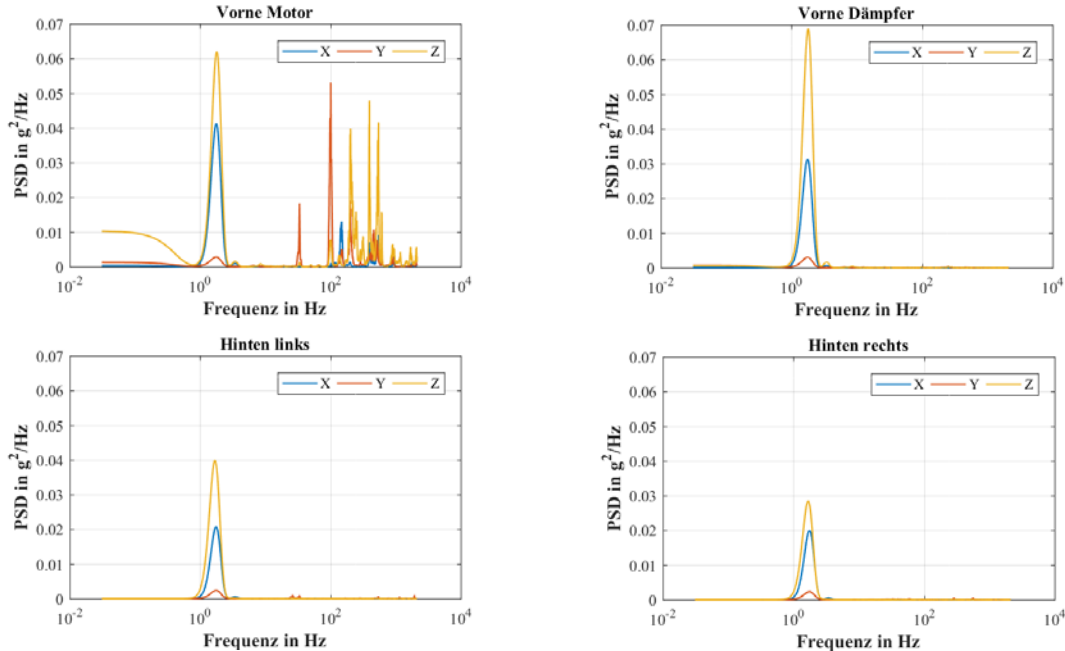


Abbildung 13: „Power Spectral Density“ einer typischen Fahrt abwärts (Vollbeladen)

Die Hauptanregung liegt zwischen 1.2 – 2.5 Hz und ist auch in den Messungen im Zeitbereich gut ersichtlich. Insbesondere beim Abwärtsfahren auftretende Beschleunigungen sind als Wippen und Hüpfen gut wahrnehmbar.

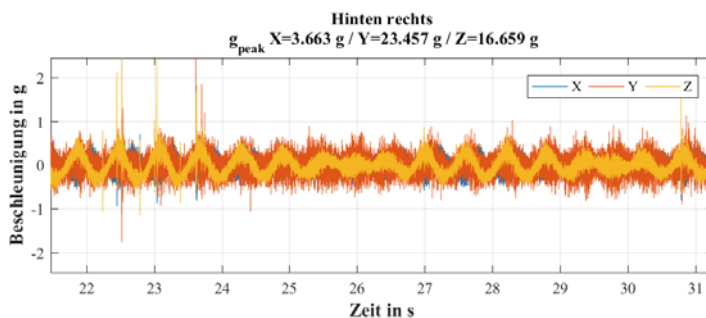


Abbildung 14: Betrachtung der Schwingung im Zeitbereich

Wenn angenommen wird, dass das Wippen während ¼ der Abwärtsfahrzeit auftritt ergibt sich daraus eine Schwingdauer 111 h/ Jahr. Bei einer Frequenz von 2 Hz sind dies 799'200 Schwingungen/ Jahr, respektive 12Mio Schwingungen über einen Zeitraum von 15 Jahre. Somit ist die Batterie für die folgenden Schwingungsbelastungen definitiv dauerhaft auszulegen.

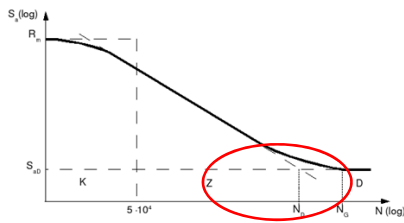


Abbildung 15: Wöhlerlinie mit rot eingekreister Dauerfestigkeitsbereich

Messstelle	Beschl.-Amplitude $ g $ im Bereich 0-10Hz
Vorne Motor	0.42g = 4.12 m/s ²
Vorne Chassis	0.41g = 4.02 m/s ²
Hinten links	0.31g = 3.04 m/s ²
Hinten rechts	0.28g = 2.75 m/s ²

Bei der Berechnung der Festigkeit der Batterie muss noch die Erdanziehungskraft eingerechnet werden, da die verwendeten Beschleunigungs-Sensoren nur den Wechselanteil (AC-gekoppelt) messen. Somit muss für die Auslegung gemäss FKM Richtlinien eine schwelende Belastung betrachtet werden (siehe Abbildung 16).

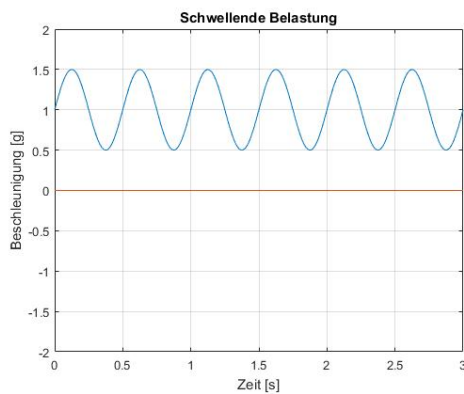
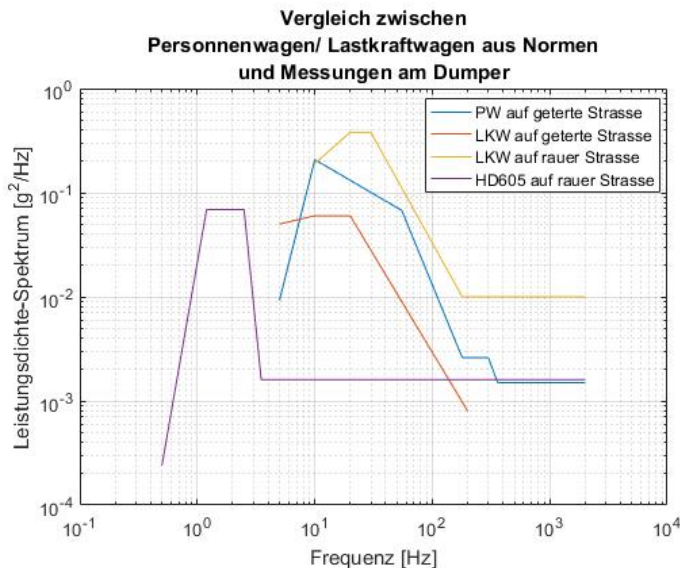


Abbildung 16: Beispiel für die tatsächliche Belastung beim Festigkeitsnachweis

6.2.2 Vergleich mit den Normen

Für den Vergleich mit gängigen Normen wurde eine Hüllkurve um die gemessenen PSD-Kurven gelegt und in Abbildung 17 zusammen mit den Kurven aus den Normen dargestellt.



Herkunft der Daten (genauere Angaben zu den Normen finden sich im Anhang)

PW auf geteeter Strasse:

VW 80000 für Karosseriebautteile

ISO 12405-2 für kleine Batterien

DIN EN 62660-2 für Karosseriebautteile

DC-10611_RevA für Karosseriebautteile

LKW auf geteeter Strasse:

ISO 12405-2 für grosse Batterien

LKW auf rauer Strasse:

ISO 16750-3 für Baumaschinen

HD605 auf rauer Strasse:

Motor wurde für die Hüllkurve unterdrückt

Abbildung 17: Vergleich der PSD verschiedener Normen und Messungen

Der Vergleich zwischen PW- und Lastwagen-Normen für geteerte Strassen zeigt, dass bei zunehmender Masse und gleichem Untergrund die Beschleunigungs-Leistung abnehmend ist. Gleiches kann bei der Norm für raue Strasse und den Messungen auf rauem Untergrund beobachtet werden.

Für die Simulation und evtl. Versuche auf einem Shaker wird das HD605 Leistungszentrum empfohlen.

6.3 Zeitfestigkeit (Shock)

Es wurde vor den Messungen vermutet, dass die grössten Beschleunigungen beim Beladen, Entladen und bei einer Vollbremsung zu finden wären. Bei der Auswertung der Daten stellte sich jedoch heraus, dass die Beschleunigungen bei der Vollbremsung nicht übermässig gross sind. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass während der normalen Fahrt immer wieder grössere Ausschläge registriert wurden.

Diese Fälle werden in diesem Kapitel einzeln betrachtet und am Schluss zusammengetragen.

6.3.1 Beladen

Ein normaler Beladevorgang besteht aus 4 Schaufeln. Nachstehend ist ein typischer Beladevorgang im Zeitbereich dargestellt.

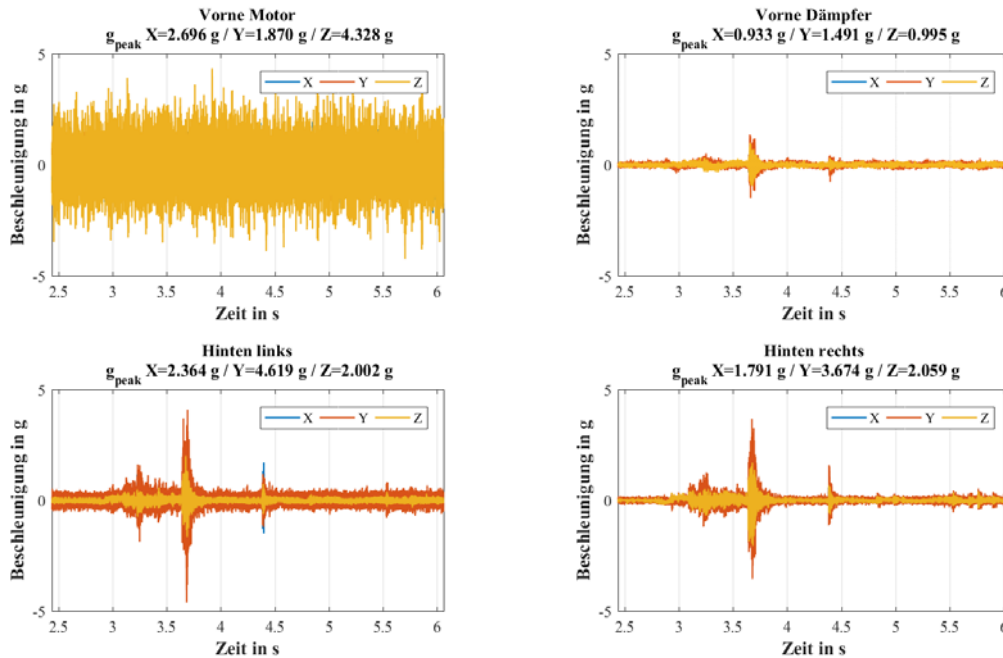


Abbildung 18: Beispiel eines Beladevorgangs

Insgesamt wurden 4 Beladevorgänge (mit jeweils 4 Schaufeln) gemessen. Die Stöße wurden über alle Beladevorgänge nach Intensität gruppiert und aufaddiert. Daraus wurde ein normiertes Histogramm für einen Beladevorgang gebildet.

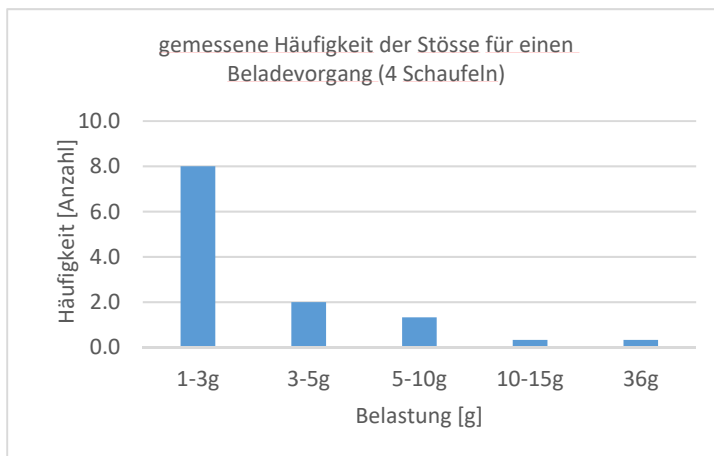


Diagramm 1: Durchschnittliche Häufigkeit der Stöße bei einem Beladevorgang (4 Schaufeln)

Bei 3185 Beladevorgänge/ Jahr gibt dies folgende Anzahl Stöße über 15 Jahre.

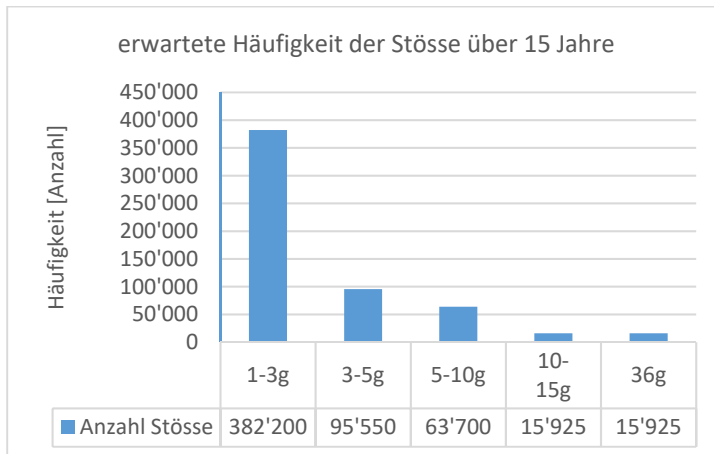


Diagramm 2: Häufigkeit der zu erwartenden Stösse beim Beladen des Dumpers über 15 Jahre

Da sich die Mulde im hinteren Bereich des Dumpers befindet, sind die meisten und grössten Stösse auch von den hinteren Sensoren erfasst worden.

6.3.2 Entladen

Es wurden vier Entladevorgänge gemessen. Die folgenden Abbildungen zeigen einen typischen Entladevorgang.

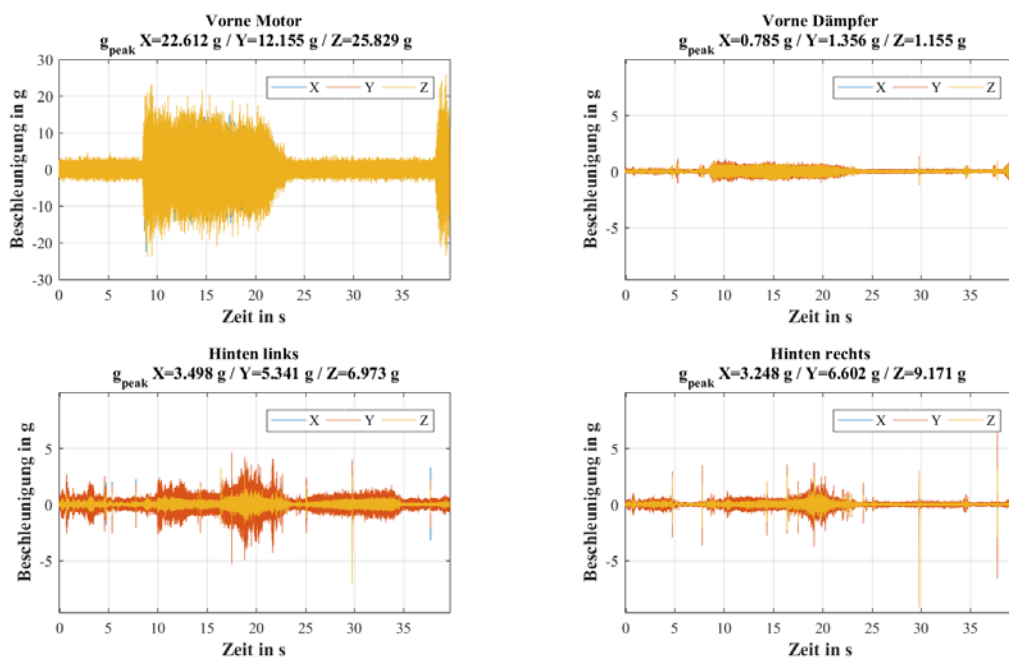


Abbildung 19: Typischer Entladevorgang

Analog zum Beladen des Dumpers wurden die Schläge nach Intensität gruppiert und die erwartete Häufigkeit über 15 Jahre berechnet.

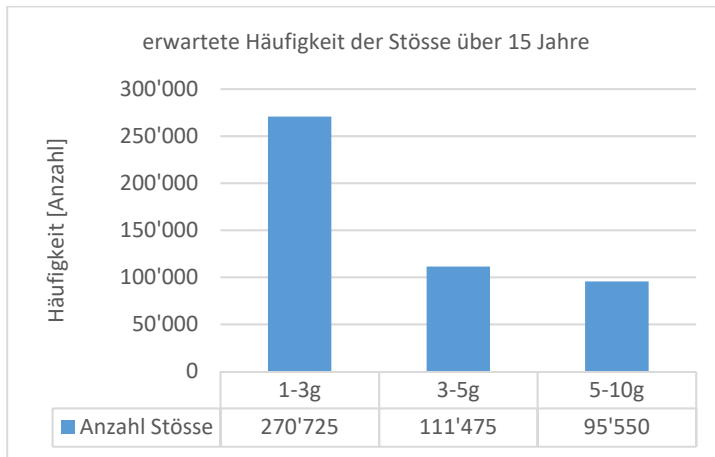


Diagramm 3: Häufigkeit der zu erwartenden Stösse beim Entladen des Dumpers über 15 Jahre

Da sich die Mulde im hinteren Bereich des Dumpers befindet, sind die meisten und grössten Stösse auch von den hinteren Sensoren erfasst worden.

6.3.3 Vollbremsung

Der Dumper wurde auf ca. 20 km/h beschleunigt und anschliessend durch eine Vollbremsung zum Stillstand gebracht. Es wurden jeweils 2 Vollbremsungen mit leerer und voller Mulde durchgeführt.

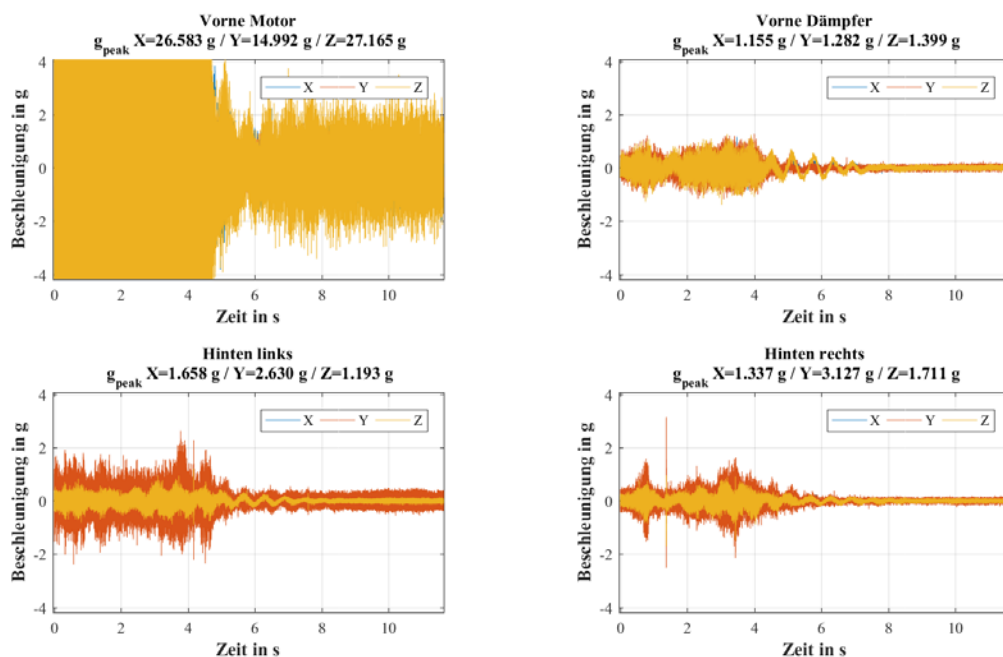


Abbildung 20: Darstellung einer typischen Vollbremsung im vollbeladenen Zustand des Dumpers

Bei der Auswertung hat sich gezeigt, dass vereinzelt Stösse im Bereich von 3 g auftreten. Dabei ist gut erkennbar, dass während der Bremsung etwas grösseres Beschleunigungsspitzen gemessen werden als beim normalen Fahren (1-2g). Es wird angenommen, dass die über den Boden rutschenden Räder die Ursache für diesen Effekt sind.

Angenommen es werden 12 Vollbremsungen / Jahr eingeleitet und bei allen gibt es diese 3g Stösse, sind dies 180 weitere Stösse über 15 Jahre gesehen.

Die Anzahl der zu erwartenden Vollbremsungen ist im Vergleich zu den Lade- / Entladevorgängen zu vernachlässigen. Ausserdem liegen die auftretenden Beschleunigungen im gleichen Bereich wie beim

Laden/Entladen, weshalb die Belastungen aufgrund einer Vollbremsung nicht weiter als expliziter Lastfall betrachtet wird.

6.3.4 Shocks während der Fahrt

Bei der Auswertung sind immer wieder Shocks bis 25 g beobachtet worden.

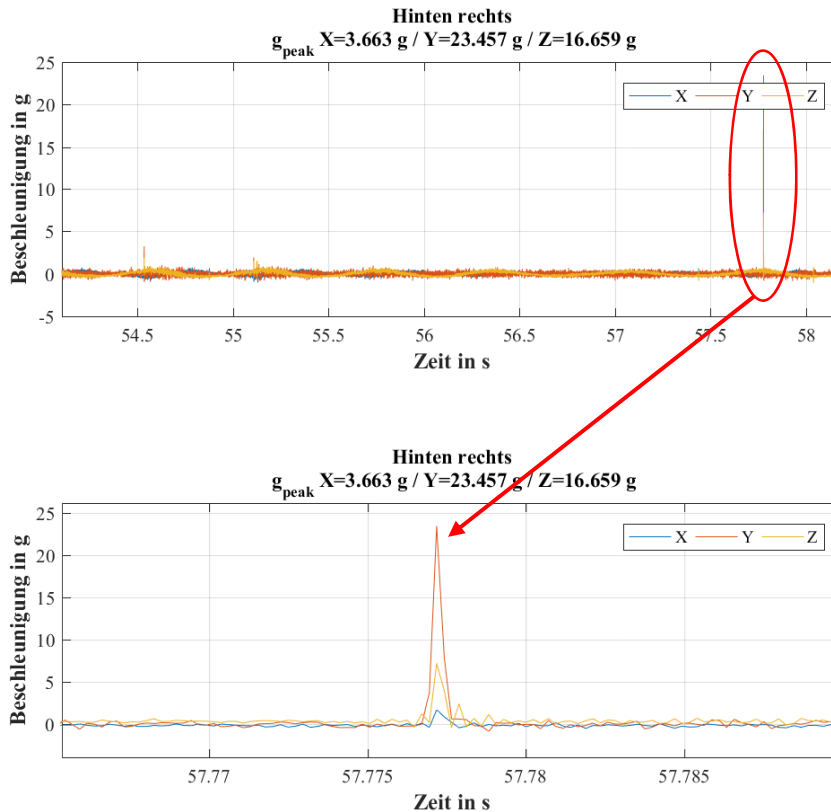


Abbildung 21: Oben: Typische Darstellung einer Fahrt mit einem 23 g Shock
 Unten: Der Shock näher betrachtet (Shock-Dauer ca. 1ms)

Zunächst wurde angenommen, dass es sich bei diesen Shocks um Steine handelt, die am Chassis oder Sensor anstossen. Bei näherer Betrachtung der Messungen konnte jedoch festgestellt werden, dass die Stöße einer Systematik unterliegen.

Bei allen Messungen wurden die Shocks jeweils nach Fahrsituation und Intensität an den Messstellen hinten links und rechts aufgezeichnet (siehe nachfolgende Diagramme).

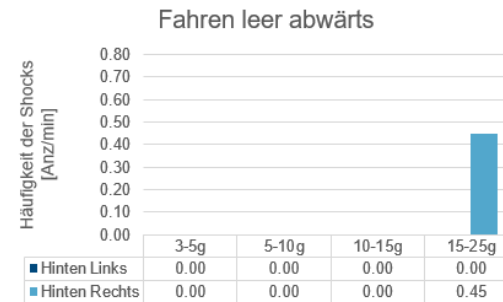
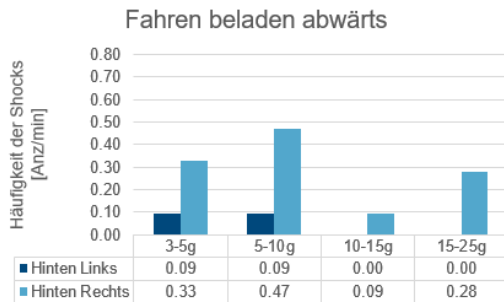
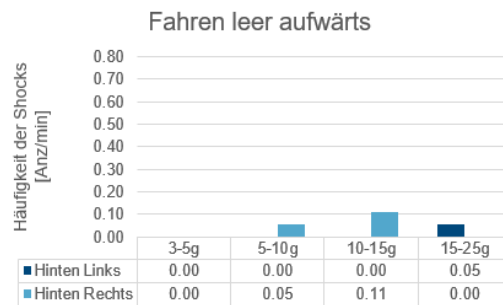
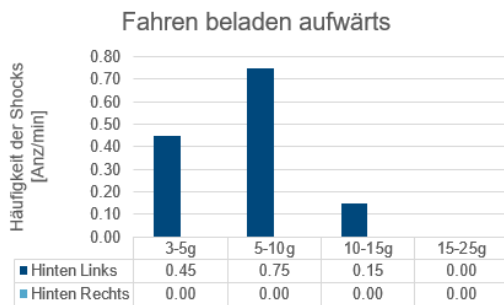


Abbildung 22: Shocks während der Fahrt

Aus Abbildung 22 ist ersichtlich, dass die Stösse beim «Fahren beladen aufwärts» ausschliesslich auf der linken Seite des Dumpers auftreten. Beim Abwärtsfahren (leer und beladen) sind die Stösse eher auf der rechten Seite zu finden.

Als Ursache für diesen Effekt gibt es verschiedene Vermutungen, die jedoch von Seiten der NTB nicht näher geklärt werden können:

- Beim Fahren bergwärts werden andere Systeme des Dumpers stärker (Gangschaltung) belastet als beim Fahren talwärts (Retarder)
- Beim Fahren bergwärts hängt der Dumper nach hinten. Beim Fahren talwärts hängt der Dumper nach vorne

Für die weitere Auswertung der Daten werden die Fahrsituationen «Fahren beladen abwärts» und «Fahren leer aufwärts» weiter betrachtet.

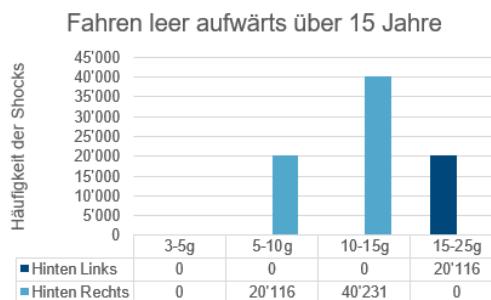
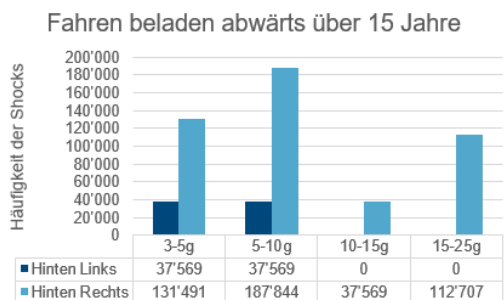


Abbildung 23: Stösse über 15 Jahre zusammengetragen

6.4 Zusammenfassung Shocks

Es wurden alle Shocks aus allen Fahrsituationen zusammengezählt und neu dargestellt.

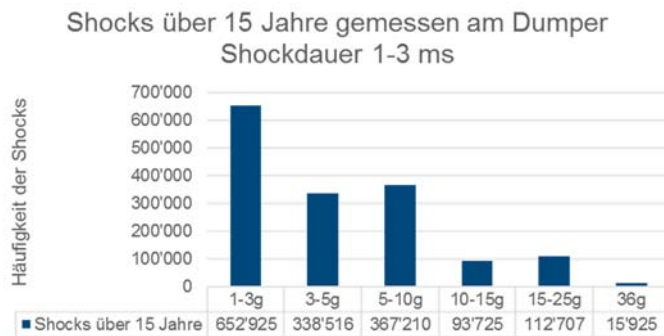


Abbildung 24: Zusammengetragene Shocks für Extremwerte über 15 Jahre

Die oben zusammengetragenen Shocks weisen eine Shockdauer von 1-3 ms auf. Dies entspricht einer Frequenz zwischen 333 – 1000 Hz. Die Anzahl der Shocks mit einer Intensität von 1-25g liegen im Zeitfestigkeitsbereich, während die Shocks über 25g im Bereich der Kurzzeitfestigkeit liegen. Es soll an diese Stelle noch einmal erwähnt werden, dass diese Beschleunigungen direkt auf dem Chassis gemessen wurden. Ein allfälliger Dämpfer kann die Belastungen auf die Batterie beträchtlich reduzieren und muss bei der Auslegung entsprechend dimensioniert werden.

In den folgenden Normen werden Versuche mit Halbsinus-Shock 50g, 6ms verlangt.

- DIN EN 62660-2
- ISO 12405-1 und ISO 12405-2
- VW 80000
- ISO 16750-3

In den folgenden Normen werden Versuche mit Halbsinus-Shock 50g, 11ms verlangt.

- UN 38-3
- DC-10611_RevA

Diese Normen verlangen jeweils 10 Shocks in 6 Richtungen und gelten für Batteriezellen-, PW- und Lastwagen-Hersteller gleichermaßen. Diese Shocks sind in Beschleunigung und Dauer härter als die am Dumper gemessenen Werte. Hierbei handelt es sich jedoch um Fälle wie das fahren über eine Bodenwelle bei hoher Geschwindigkeit und falsche Handhabung beim Transport der Batterie. Falls einer dieser Fälle beim Transport der Batterie eintreten kann, muss die Batterie dies ungedämpft und unbeschadet aufnehmen können.

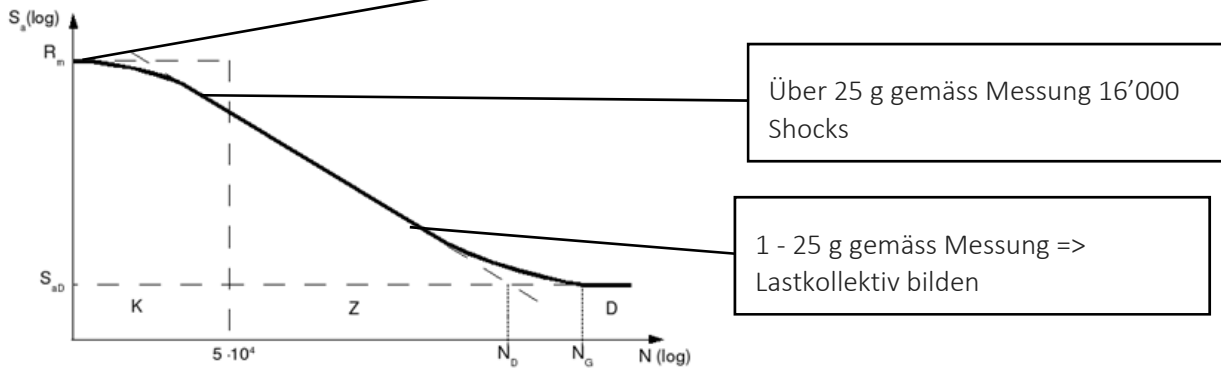
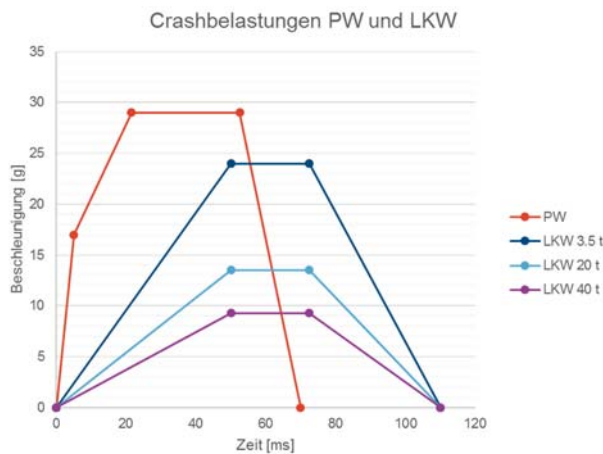


Abbildung 25: Wöhlerlinie für Stahl- und Aluminiumwerkstoffe

6.5 Crash (Impuls, Shock)

Aus den Normen liegen Daten für PW und verschiedene LKW vor. Diese zeigen, dass bei zunehmendem Gewicht die Beschleunigungen abnehmend sind.



Herkunft der Daten

PW:
ECE-R 16

LKW:
ISO 16750-3

Die Integration der jeweiligen Beschleunigungsdaten zeigt eine Geschwindigkeitsänderung beim

PW bis 3.5 t $\Delta v = 56$ km/h

LKW ab 3.5 t: $\Delta v = 56$ km/h

LKW ab 20 t: $\Delta v = 31$ km/h

LKW ab 40 t: $\Delta v = 22$ km/h

Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein 40 t LKW in Wirklichkeit mit lediglich 22 km/h fährt. Bei einem Crash mit einem 40 t LKW ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass der Crashpartner viel leichter (z. Bsp. PW) ist als der schwere LKW, was zu geringeren Verzögerungen führt.

Die auftretenden Beschleunigungen bei einem Crash zwischen zwei Dumpfern sind nur schwer zu quantifizieren. Da der Dumper nur wenig bis gar keine Knautschzone hat, ist davon auszugehen, dass über einen kurzen Zeitraum sehr hohe Beschleunigungen auftreten würden.

Bei einem Crash darf eine Batterie beschädigt, verbogen und gequetscht werden. Es dürfen sich jedoch keine gefährlichen Bedingungen einstellen (z.B. Kurzschluss). Ebenfalls muss die Batterie in jedem Fall dicht (IP6k6k IP6k9k) bleiben damit weiterhin kein Wasser eindringen kann und auch die Gase im Brandfall kontrolliert abgeführt werden können (Siehe dazu auch Kapitel 8.3.2).

6.6 Zusammenfassung der Beschleunigungs-Auswertungen

Nachträglich sind alle Belastungsfälle aufgelistet und auf die Wöhlerlinie übertragen.

Crash/Shock (beladen, Crash)

Über 25 g (bis 11 ms)

50 g gemäss Transportnorm

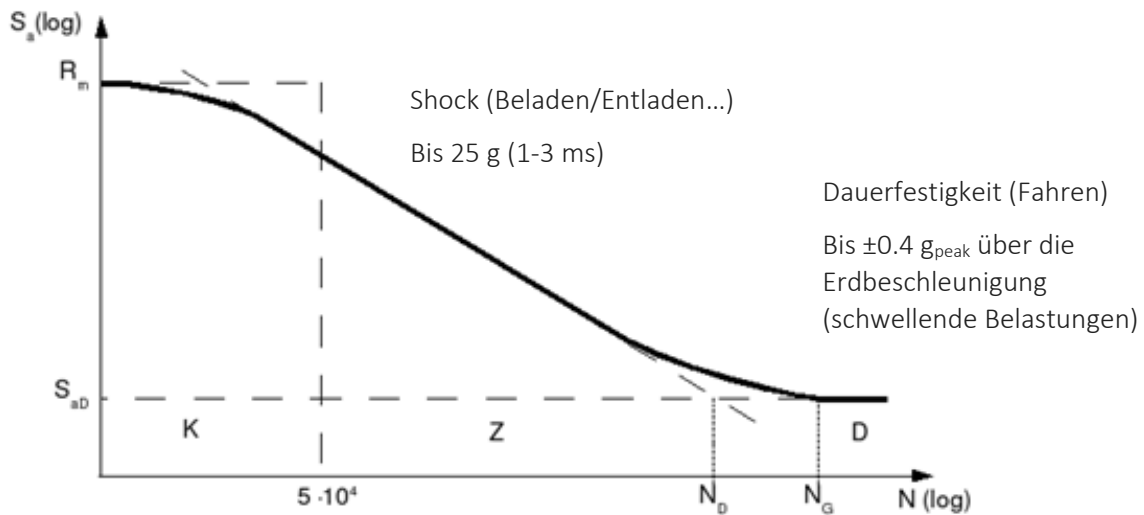


Abbildung 26: Zusammenfassung aller Vibrationen

Betriebsfall / Ereignis	g-Belastungen / Belastungsart	Festigkeitsnachweis
Fahren	Schwellend (1 ± 0.4)g / Sinus 2Hz	Dauerfest
Beladen / Entladen	Schock 1-25g / 1-3ms	Zeitfest
Crash	Schock >25g	Kurzzeitfest

Für den rechnerischen Festigkeitsnachweis muss aus den Belastungen eine Schadensakkumulation gemäss FKM (Lastkollektiv) erstellt werden.

7 Quetschen von Batterien

Falls das Batteriegehäuse bei einem Unfall zusammengedrückt wird kann das Innere der Batterie Schaden nehmen. Elektrische und mechanische Verbindungen können sich verschieben oder gar brechen. Hierbei darf es nicht zu einem Kurzschluss oder gar zu einem Brand kommen. Auch die Zellen können gequetscht werden wobei diese Eventualität bereits vom Zellenhersteller geprüft sein sollte.

Die Normen verlangen Quetsch-, Steinschlag und Fallkörperversuche.

Bei der Quetschprüfung wird die Batterie unter einer Presse bis zum 1000fachen des Zellengewichts zusammengedrückt.

- Quetsch-Prüfung bei Batterien nach DIN EN 62660-2
- Quetsch-Prüfung bei Batterien nach SAE J 2464
- Quetsch-Prüfung bei Batterien nach UN 38-3

Bei der Steinschlagprüfung nach VW 80000 müssen alle frei zugänglichen Flächen eines Fahrzeuges einer Sandstrahlprüfung unterzogen werden. Dies soll den Splittbewurf beim Fahren simulieren. Da der Dumper max. 50km/h fährt ist dieser Test eher ungeeignet.

Bei der Fallkörper-Prüfung nach DIN EN ISO 3449 werden definierte Fallkörper (von bis zu 380 Kg) auf den Prüfling fallen gelassen. Die Höhe soll so eingestellt werden, dass eine Fallenergie von 1365 J (Fall Stufe 1) oder 11'600 J (Fall Stufe 2) auf den Prüfling einwirkt.

7.1 Vorschlag E-Dumper

Für die Batterie wird empfohlen zu prüfen, ob grössere Steine – beispielsweise beim Beladen/Entladen – auf eine seitlich angebrachte Batterie aufschlagen könnten (Steinschlag).

Es ist ebenfalls empfehlenswert, dass der Deckel der Batterie von mehreren Personen mit je 120 kg betreten werden kann. Dies ist evtl. bereits gegeben falls die Batterie stapelbar sein soll.

Es sollte auch darauf geachtet werden, dass alle Anschlüsse der Batterie (HV- und LV- Anschlüsse) begehbar sind. Wie bei den Messungen beobachtet wurde, können diese Anschlüsse durchaus als Steigbügel eingesetzt werden.

8 Umwelteinflüsse

Die Batterie ist Tag und Nacht draussen und dies im Winter wie auch im Sommer.

8.1 Prüfung Sonnenbestrahlung nach VW 80000

VW 80'000: Volkswagen - Elektrische Eigenschaften und elektrische Sicherheit von Hochvolt-Komponenten - Anforderungen und Prüfungen

Diese Prüfung simuliert den Einfluss von Sonnenbestrahlung und UV-Licht auf die Komponente.

Betriebsart des Prüflings	Betriebsart I.a
Verwendete Prüfprofile	Die Prüfprofile nach DIN 75220 werden abhängig vom Einbauraum der Komponente angewendet.
Komponenten im Außenraum	Verwendung des Profils Z-Out gemäß Tabelle 2 und Tabelle 5 der DIN 75220
Komponenten im Innenraum	Verwendung des Profils Z-IN nach DIN 75220
Prüfdauer	25 Tage (15 Tage trocken, 10 Tage feucht)
Anzahl der Zyklen	1
Anzahl der Prüflinge	6

Tabelle 77: Prüfparameter K-17 Sonnenbestrahlung

(VW 80000 DE_2009-10-01, S. 97)

8.2 Prüfung Sonnenbestrahlung – weitere Normen

- Prüfung Sonneneinstrahlung nach DC 10611

8.3 Druckausgleich

Gemäss UN 38-3 müssen Zellen und Batterien 6 h bei 11,6 kPa gelagert werden. Dabei dürfen die Batterien keine Leckage und auch keine Entlüftung usw. aufweisen.

Der Druck von 11.6 kPa entspricht 1.16 Tonnen auf einer Fläche von 1 m². Da dies bei Grossbatterien gefährlich ist, werden hier Druckausgleichs-Systeme bevorzugt.

Hierbei werden 2 verschiedene Situationen beschrieben.

8.3.1 Langsame Druckänderung

Hierbei handelt es sich um Druckunterschiede beim Hochfahren und Runterfahren (Geografische Druckunterschiede) und wettertechnische Druckunterschiede (Hoch- und Tiefdruck).

Um diese Unterschiede ausgleichen zu können werden Druckausgleichsmembranen verbaut.

8.3.2 Schnelle Druckänderung

Schnelle Druckänderungen liegen vor, wenn zum Beispiel die Zellen explodieren oder schnell ausgasen.

Hierbei sollte eine Berstscheibe für die Notentgasung vorgesehen werden. Die Scheibe sollte bei einem maximalen Überdruck von 100 mbar bersten.

8.4 Empfehlungen für den E-Dumper

Bei Sonneneinstrahlung muss dafür gesorgt sein, dass die Zellen auch bei abgeschalteter Kühlung nicht überhitzen. Es sollte ebenfalls darauf geachtet werden, dass keine Wasseransammlungen entstehen können.

Eine mögliche Lösung sind die Entgasungseinheiten von «MANN+HUMMEL Industriefilter - Hochvolt-Batterien». Diese können sowohl langsame wie auch schnelle Druckänderungen ausgleichen.

9 Dichttheit

Gemäss Normen von verschiedenen Fahrzeughersteller müssen HV-Komponenten folgender Dichttheitsprüfungen unterzogen werden:

- Salzsprühnebel
- Regen-, Spritz- und Tauchwasser
- Hochdruck- und Dampfstrahlreinigung

Da der Dumper eher nicht in salzigen Umgebungen eingesetzt wird, kann dieser Test entfallen. Es wird jedoch empfohlen Spritzwasser, Tauchwasser und Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung zu beachten.

Dies würde somit zu folgender IP Schutzklasse führen:

IP 6k6k/ 6k9k

Die Bezeichnungen stehen für Folgendes:

Staubschutz

IP 6KX = Jeglicher Staub darf nicht in der Batterie eindringen können

Tauchwasser

IP X0 bis IP X6K = Beaufschlagung mit Tauwasser, Regen, Spritzwasser
es darf kein Wasser eindringen

Dichttheit Dampfstrahl

IP X9K = Schutz gegen Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung (100 bar)
es darf kein Wasser eindringen

Normen:

- Dichttheitsprüfung gegen Regen, Spritz- und Tauwasser nach VW 80000
- Dichttheitsprüfung bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung nach VW 80000
- Dichttheitsprüfung Salzsprühnebel nach DC 10611
- Dichttheitsprüfung bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung nach DC 10611
- Dichttheitsprüfung Salzwasser (Eintauchen) nach DC 10611
- Dichttheitsprüfung (Eintauchen) nach SAE J 2464
- Dichttheitsprüfung (Roll-over) nach SAE J 2464



10 Schutzmassnahmen bei Gas-Bildung

Es sollte darauf geachtet werden, dass bei Fehlfunktion einer Zelle teils explosive Gase austreten können. Diese Gase dürfen gemäss ECE R-100 und EN 474-1 keine gefährlichen Konzentrationen überschreiten.

11 Schutzmassnahmen im Brandfall

Sollte es bei allen Schutz- und Sicherheitsmassnahmen dennoch zu einem Havariefall kommen, muss unbedingt dafür gesorgt werden, dass Personen auf und um den Dumper nicht gefährdet werden. Hierfür sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Es dürfen keine offenen Feuer sichtbar sein (Brand muss im Batteriegehäuse bleiben)
- Gase sollen über eine Berstscheibe an einem sicheren Ort kontrolliert abgeführt werden
- Falls Personen beim Flüchten über die Batterie laufen müssen, dürfen diese Oberflächen nicht übermässig warm werden
- Die Fluchtwege müssen freibleiben



Anhang

Autoren:

Prof. Dr. Max Stöck (Technische Mechanik)

Roger Strässle (Normenwesen)

Rouven Christen (Auswertung Messdaten)

Alfred Gadola (Messtechnik)

NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs

NTB Campus Buchs

Werdenbergstrasse 4

CH-9471 Buchs

1	NORMEN RECHERCHE.....	3
1.1	ÜBERSICHT DER VERWENDETE NORMEN	3
1.2	VIBRATIONSPRÜFUNG BEI GROSSEN BATTERIEN NACH ISO 12405-2	3
1.3	VIBRATIONSPRÜFUNG – WEITERE NORMEN	6
1.4	SCHOCK-PRÜFUNG BATTERIE NACH DIN EN 62660-2.....	7
1.5	SCHOCK-PRÜFUNG – WEITERE NORMEN	8
1.6	CRASH-PRÜFUNG BEI FAHRZEUGEN AB 3.5 T NACH ISO 12405-3.....	8
1.7	CRASH-PRÜFUNG – WEITERE NORMEN	11
1.8	QUETSCH-PRÜFUNG BEI BATTERIEN NACH DIN EN 62660-2	11
1.9	QUETSCH-PRÜFUNG BEI BATTERIEN – WEITERE NORMEN.....	12
1.10	STEINSCHLAG-PRÜFUNG NACH VW 80000.....	12
1.11	FALLKÖRPER-PRÜFUNG NACH DIN EN ISO 3449	13
1.12	PRÜFUNG SONNENBESTRAHLUNG NACH VW 80000	15
1.13	PRÜFUNG SONNENBESTRAHLUNG – WEITERE NORMEN.....	16
1.14	PRÜFUNG DRUCK (HÖHENSIMULATION) BEI BATTERIEN NACH UN 38-3	16
1.15	DICHTHEITSPRÜFUNG (SALZSPRÜHNebel) NACH VW 80000	16
1.16	DICHTHEITSPRÜFUNG GEGEN REGEN, SPRITZ- UND TAUWASSER NACH VW 80000.....	17
1.17	DICHTHEITSPRÜFUNG BEI HOCHDRUCK-/DAMPFSTRAHLREINIGUNG NACH VW 80000	18
1.18	DICHTHEITSPRÜFUNG – WEITERE NORMEN.....	19
1.19	BELÜFTUNG BATTERIERAUM NACH ECE R-100.....	19
1.20	SCHUTZMASSNAHME GASBILDUNG SÄURE NACH EN 474-1	19
2	EINZELNE MESSUNGEN AUFGEZEICHNET	20
2.1	DUMPER IM NEUTRALGANG STEHEND.....	20
2.2	BELADEN	21
2.2.1	<i>Erste Beladung</i>	21
2.2.2	<i>Zweite Beladung</i>	23
2.2.3	<i>Dritte Beladung</i>	25
2.3	ENTLADEN.....	28
2.4	VOLLBREMSUNG LEER	30
2.5	VOLLBREMSUNG BELADEN	31
2.6	AUFWÄRTSFAHREN MULDE LEER (BEISPIEL EINER VOLLEN FAHRT)	32
2.7	ABWÄRTSFAHREN MULDE LEER (TEILFAHRT).....	37
2.1	AUFWÄRTSFAHREN MULDE VOLL (TEILFAHRT).....	38
2.2	ABWÄRTSFAHREN MULDE VOLL (TEILFAHRT)	39

1 Normen Recherche

Bei allen hier aufgeführten Normen handelt es sich nur um Zusammenfassungen/Zitate der Normen und nie um die gesamte Norm.

1.1 Übersicht der Verwendete Normen

- **DIN EN 62660-2:** Lithium-Ionen-Sekundärzellen für den Antrieb von Elektrostrassenfahrzeugen - Teil 2: Zuverlässigkeits- und Missbrauchsprüfung
- **SAE J 2464:** Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System (RESS) Safety and Abuse Testing
- **UN 38-3:** Transport of dangerous goods - Teil 3: Lithium metal and lithium ion batteries
- **ECE-R 100:** Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge hinsichtlich der besonderen Anforderungen an die Bauweise und die Betriebssicherheit
- **ECE-R 16:** Fahrzeuge mit Sicherheitsgurte, Rückhaltesysteme, Kinder-Rückhaltesysteme und ISOFIX-Kinder-Rückhaltesysteme
- **DIN EN ISO 3449:** Erdbaumaschinen – Schutzaufbauten gegen herabfallende Gegenstände – Prüfungen und Anforderungen
- **VW 80'000:** Volkswagen - Elektrische Eigenschaften und elektrische Sicherheit von Hochvolt-Komponenten - Anforderungen und Prüfungen
- **DC-10611 Rev-A:** Electrical/Electronic Component Environmental Testing specifications
- **ISO 12405-2:** Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems
- **ISO 12405-3:** Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems
- **ISO 16750-3:** Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment
- **EN 474-1,** Normenausschuss Maschinenbau (NAM) (2009): Erdbaumaschinen – Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. EN 474-1:2006+A4:2013

1.2 Vibrationsprüfung bei grossen Batterien nach ISO 12405-2

ISO 12405-2: Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems

8.3.1 Zweck

Dieser Test prüft den Prüfling auf Störungen und Bruch durch Vibrationen. Vibrationen des Körpers sind zufällige Vibrationen durch Rauh-Fahren sowie interne Vibrationen des Antriebsstrangs induziert. Die Hauptfehler, die durch diesen Test identifiziert werden, sind Bruch und Verlust des elektrischen Kontaktes.

Hinweis Dieser Test kann mit einem Akkupack-Subsystem durchgeführt werden, siehe 5.1.

8.3.2 Teil 1: Akku und System mit grosser Masse

8.3.2.1 Prüfverfahren

Die Prüfung erfolgt nach IEC 60068-2-64, siehe Tabellen 17 bis 20 oder nach einem vom Kunden bestimmten Testprofil und auf die Fahrzeuganwendung geprüft.

Die angegebenen Prüfparameter gelten für Prüflinge, die für die Montage auf gefederten Massen (Fahrzeugkarosserie) eines Fahrzeugs ausgelegt sind. Der Prüfling muss auf einem Schüttlerprüfstand

entsprechend der konstruierten Fahrzeugmontage und gemäß den Anforderungen der IEC 60068-2-47 montiert werden.

Die Vibrationsprüfung erfolgt in einer Abfolge aller drei Raumrichtungen, wenn nicht anders vereinbart zwischen Kunden und Lieferanten, beginnend mit der vertikalen Richtung (Z), gefolgt von der Querrichtung (Y) und schließlich mit der Längsrichtung (X).

Die auf den Prüfling wirkenden mechanischen Spannungen werden durch eine stochastische Beschleunigungszeitfunktion mit einer Prüfdauer pro Raumrichtung von 21 h vorgegeben. Die Testdauer pro Raumrichtung kann auf 15 h reduziert werden, wenn der Testvorgang mit zwei identischen Prüflingen durchgeführt wird, oder auf 12 h, wenn der Testvorgang mit drei identischen Prüflingen durchgeführt wird. Hierzu wird für jede räumliche Richtung ein Prüfpektrum zwischen 5 Hz und 200 Hz als gewünschtes PSD für den Schwingungsregler (PSD_vertikal_Z, PSD_horizontal_transverse_Y, PSD_horizontal_longitudinal_X) definiert. Ist der Prüfling für eine Fahrzeugmontageposition unterhalb des Fahrzeuginnenraums ausgelegt, so ist das reduzierte Spektrum PSD_horizontal_transverse_Y-Fahrgastraumboden gemäß Tabelle 19 zu verwenden. Im Zweifelsfall sind Lieferant und Kunde einverstanden, welches Quer-Y-Profil gilt.

Frequency [Hz]	PSD [g ² /Hz]	PSD [(m/s ²) ² /Hz]
5	0,012 5	1,20
10	0,03	2,89
20	0,03	2,89
200	0,000 25	0,02
r.m.s.	0,96 g	9,42 m/s ²

Table 17 — Werte für PSD_horizontal_longitudinal_X

Frequency [Hz]	PSD [g ² /Hz]	PSD [(m/s ²) ² /Hz]
5	0,04	3,85
20	0,04	3,85
200	0,000 8	0,08
r.m.s.	1,23 g	12,07 m/s ²

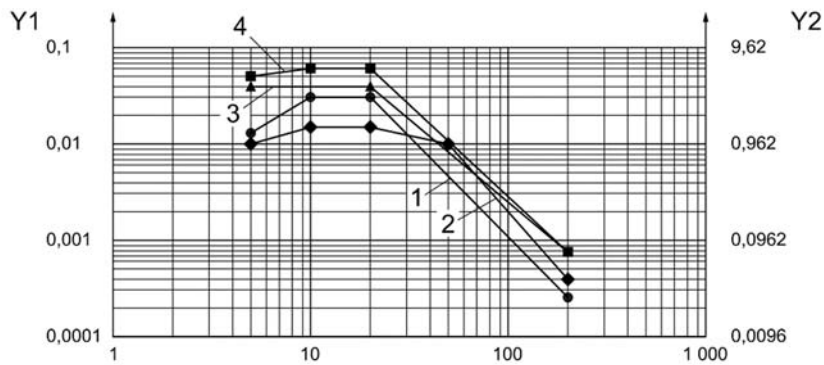
Table 18 — Werte für PSD_horizontal_transverse_Y

Frequency [Hz]	PSD [g ² /Hz]	PSD [(m/s ²) ² /Hz]
5	0,01	0,96
10	0,015	1,44
20	0,015	1,44
50	0,01	0,96
200	0,000 4	0,04
r.m.s.	0,95 g	9,32 m/s ²

Table 19 — Werte für PSD_horizontal_transverse_YPassenger_compartment_bottom

Frequency [Hz]	PSD [g ² /Hz]	PSD [(m/s ²) ² /Hz]
5	0,05	4,81
10	0,06	5,77
20	0,06	5,77
200	0,000 8	0,08
r.m.s.	1,44 g	14,13 m/s ²

Table 20 — Values for PSD_vertical_Z



X frequency [Hz]

Y1 Leistungsdichte [g²/Hz]

Y2 PSD [(m/s²)²/Hz]

1 PSD_horizontal_longitudinal_X

2 PSD_horizontal_transverse_Y

3 PSD horizontal transverse Y

4 PSD vertical Z

Figure 12 — PSD Spektrum für gefederte Massen (Massen auf Karosserie montiert)

Folgende Regelparameter sind zu beachten:

- Delta-Frequenz: $1,25 \pm 0,25$ Hz
- Innerer Toleranzbereich (Warnstufe): ± 3 dB
- Äußerer Toleranzbereich (Abschaltniveau): ± 6 dB

Es ist davon auszugehen, dass vor allem die Akkupack- oder Systementwurfslebensdauer von Temperaturen beeinflusst wird. Daher muss die Vibrationsprüfung (Prüfzeit für jede Raumrichtung) des Akkupacks oder Systems durch ein Temperaturprofil gemäß Tabelle 21 überlagert werden:

Time [min]			Ambient temperature
1 test sample	2 test samples	3 test samples	
0	0	0	RT
105	75	60	T_{min}
420	300	240	T_{min}
525	375	300	RT
700	500	400	T_{max}
1085	775	620	T_{max}
1260	900	720	RT
$\Sigma = 21 \text{ h}$	$\Sigma = 15 \text{ h}$	$\Sigma = 12 \text{ h}$	

Table 21 — Werte für Prüfdauer und Umgebungstemperatur

T_{min} und T_{max} werden zwischen Lieferant und Kunden vereinbart. Wenn nicht definiert, sind folgende Werte zu verwenden: $T_{min} = -40 \text{ °C}$; $T_{max} = 75 \text{ °C}$

Vor der Vibrationsprüfung ist die Prüflings-Kapazität durch die Durchführung von zwei Standardzyklen (SC) gemäß 6.2 zu bewerten. Stellen Sie den SOC mit einer C / 3-Entladung auf 50% ein, bevor Sie das Vibrationstestprofil starten. Nach der Vibrationsprüfung ist die Prüflings-Kapazität durch die Durchführung von zwei Standardzyklen (SC) gemäß 6.2 zu bewerten.

8.3.2.2 Anforderung

Bruch und Verlust des elektrischen Kontaktes dürfen nicht erfolgen gemäß den Anforderungen des Vibrationsprüfverfahrens.

Betriebsart: Muss mit Hauptschützen geschlossen sein.

Der Funktionsstatus ist Klasse A (siehe ISO 16750-1) während der Betriebsart 3.2 nach ISO 16750-1 und Klasse C in Perioden mit anderen Betriebsarten.

Die gemessenen Daten umfassen:

- Spannung über die positiven und negativen Klemmen des Prüflings während des Tests; - Isolationswiderstand zwischen dem Prüflings-Gehäuse und den positiven und negativen Anschlüssen vor und nach dem Test; - C / 3-Kapazität bei RT vor und nach dem Test (jeweils C / 3-Kapazität des zweiten Standardzyklus).

(ISO 12405-2 2012+2015, S. 49–53)

1.3 Vibrationsprüfung – weitere Normen

- Vibrationsprüfung bei Batterien nach DIN EN 62660-2
- Vibrationsprüfung bei Batterien ab 12 kg nach UN 38-3
- Vibrationsprüfung bei High Power Batterien nach ISO 12405-1
- Vibrationsprüfung bei Batterien von kommerziellen Fahrzeugen nach ISO 16750-3
- Vibrationsprüfung Profil A-E nach VW 80000
- Vibrationsprüfung von Batterien nach DC 10611
- Vibrationsprüfung von Fahrzeug-Batterien nach SAE J 2380

1.4 Schock-Prüfung Batterie nach DIN EN 62660-2

DIN EN 62660-2: Lithium-Ionen-Sekundärzellen für den Antrieb von Elektrostrassenfahrzeugen - Teil 2: Zuverlässigkeits- und Missbrauchsprüfung

Mechanische Stosseinwirkung

Diese Prüfung wird durchgeführt, um das Verhalten der Zelle bei mechanischer Stosseinwirkung zu charakterisieren, der diese im Fahrzeug wahrscheinlich ausgesetzt sein wird.

Prüfung

Die Prüfung muss wie nachfolgend beschrieben durchgeführt werden.

- a) Kapitel 5.3 der Norm
Der Ladezustand der Zelle ist für die Anwendung in Batteriefahrzeugen auf 100% und in Hybridfahrzeugen auf 80 % einzustellen.
- b) Die Prüfung ist wie in Tabelle 3 dargestellt nach ISO 16750-3 durchzuführen. Die Beschleunigung durch die Stoßeinwirkung in der Prüfung muss in die gleiche Richtung wirken wie die Beschleunigung, die bei Stoßeinwirkung im Fahrzeug auftritt. Ist die Richtung nicht bekannt, muss die Zelle in allen sechs Raumrichtungen geprüft werden.

Impulsform	halbsinusförmig
Beschleunigung	500 m/s ²
Dauer	6 ms oder länger
Anzahl der Stöße	10 je Prüfrichtung

1 Tabelle 3 - Prüfung des Verhaltens bei mechanischer Stoßeinwirkung - Parameter

Anmerkung

Wenn aufgrund einer Bestimmung strengere Prüfparameter gefordert werden, dann dürfen derartige Prüfparameter angewendet werden.

Prüfergebnisse

Folgende Größen sind zu messen und als Prüfergebnisse aufzuzeichnen: Zellenspannung und -kapazität zu Beginn und am Ende der Prüfung; Zustand der Zelle am Ende der Prüfung nach der in Abschnitt 7 festgelegten Beschreibung.

7 Beschreibung der Prüfergebnisse

Die Ergebnisse der in dieser Norm festgelegten Prüfungen sind unter Anwendung der in Tabelle 8 angegebenen Beschreibungen festzuhalten. Es dürfen mehrere Beschreibungen für ein Ergebnis verwendet werden. Die Prüfergebnisse dürfen mit Hilfe entsprechender Materialien, z. B. Fotos, veranschaulicht werden.

Beschreibung	Wirkung
Keine Wirkung	Keine Wirkung. Keine Veränderung des Erscheinungsbilds.
Verformung	Veränderung oder Verformung des Erscheinungsbilds einschließlich Ausdehnung.
Leichte Leckage/Entlüftung	Austritt flüssigen Elektrolyts aus Entlüftungsöffnung oder Entlüftung mit Freisetzung von Feuchtigkeit.
Leckage	Austritt flüssigen Elektrolyts aus einem anderen Teil als der Entlüftungsöffnung, z. B. aus Gehäuse, Dichtungsmasse und/oder Anschlusspolen.
Rauchaustritt	Freisetzen von Rauch aus Entlüftungsöffnung.
Bersten	Mechanisches Versagen eines Zellengehäuses aufgrund einer inneren oder äußeren Ursache, was dazu führt, dass Materialien freiliegen oder auslaufen, jedoch nicht ausgeworfen werden.
Brand	Von einer Zelle ausgehende Flammen.
Explosion	Versagen, das eintritt, wenn sich ein Zellengehäuse mit Gewalt öffnet und große Bauteile zwangsweise ausgestoßen werden.

2 Tabelle 8 - Beschreibung der Prüfergebnisse

(DIN EN 62660-2, 15–16, 23)

1.5 Schock-Prüfung – weitere Normen

- Schock-Prüfung bei High Power Batterien nach ISO 12405-1
- Schock-Prüfung bei Batterien nach ISO 12405-2
- Schock-Prüfung Schock bei Batterien nach VW 80000
- Schock-Prüfung bei PkW und LkW nach ISO 16750-3
- Schock-Prüfung bei Transport nach SAE J 2464
- Schock-Prüfung bei Transport nach UN 38-3
- Schock-Prüfung von Fahrzeugkomponenten bei Hochgeschwindigkeit nach DC 10611

1.6 Crash-Prüfung bei Fahrzeugen ab 3.5 t nach ISO 12405-3

ISO 12405-3: Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems

Zweck

Der Zweck dieses Tests ist es, die Sicherheitsleistung des Prüflings unter Trägheitsbelastungen zu überprüfen, die durch Beschleunigung verursacht werden, die bei einem Fahrzeugunfall auftreten können.

Dieser Test kann entfallen, wenn der fahrzeugbasierte Test nach 8.2 (Kontaktkraft beim Fahrzeugcrash) durchgeführt wird.

Prüfverfahren

Die Prüfung muss mindestens einmal in der gleichen Richtung des Schocks durchgeführt werden, der im Fahrzeug während des Fahrzeugunfalls im Sinne der nationalen oder regionalen Vorschriften auftritt.

Bei mittelschweren Lkw, Midi-Bussen, Schwerlastwagen und Bussen gilt eine vom Fahrzeughersteller ermittelte und für den Fahrzeugantrag geprüfte Prüfrichtung.

Für jede dieser Richtungen ist die Prüfung nach einer der unten beschriebenen Optionen durchzuführen. Ist die Ausrichtung des Prüflings im Fahrzeug oder die Richtung der Trägheitslast nicht bekannt, so ist der Prüfling in allen sechs Raumrichtungen nach Option a) zu prüfen.

a) Akku oder Systemprüfung ausserhalb eines Fahrzeugs

Der Prüfling muss auf dem Prüfstand durch die zur Befestigung des Akkupacks oder Systems an das

Fahrzeug oder nach Vereinbarung zwischen dem Kunden und dem Lieferanten vorgesehenen Vorrichtungen installiert werden.

Die Umgebungstemperatur während der Prüfung muss $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ betragen. Im Falle eines flüssigkeitsgekühlten Batteriesystems ist der Prüfling mit dem Standardkühlmittel zu befüllen und nach Vereinbarung zwischen dem Kunden und dem Lieferanten kann der Fahrzeugkühlkreislauf durch ein repräsentatives externes Kühlsystem ersetzt und abgedichtet werden, um das Kühlmittel innerhalb der Rohrleitung des Prüflings zu halten.

Die Kontakte sind geschlossen und die relevanten Steuergeräte angeschlossen, wenn ein Teil des Prüflings betriebsbereit ist. Der Test wird unter Pulsform und Werten für Zeit und Beschleunigung innerhalb des Bereichs durchgeführt, die durch die Werte für obere und untere Schranken in Figur 1 gegeben ist, indem die Zeitbeschleunigungswerte aus den Tabellen 1 bis 3 für die Bruttomasse des Fahrzeugs angewendet werden, für die Anwendung der Akkupacks und Systeme oder nach einem vom Kunden bestimmten Testprofil und zur Fahrzeuganwendung verifiziert.

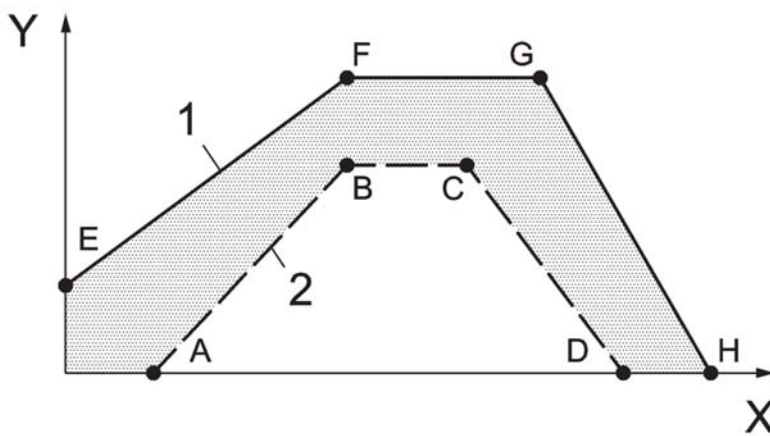


Figure 1 — Generic description of test pulses

Legende

1 Maximum; 2 Minimum; X Zeit; Y Beschleunigung

	Time ms	Acceleration (longitudinal) g	Acceleration (transversal) g
A	20	0	0
B	50	20	8
C	65	20	8
D	100	0	0
E	0	10	4,5
F	50	28	15
G	80	28	15
H	120	0	0

Tabelle 1 - Wertebereich für Beschleunigungsimpulse für Fahrzeuge mit Bruttomasse von höchstens 3,5 t

	Time ms	Acceleration (longitudinal) g	Acceleration (transversal) g
A	20	0	0
B	50	10	5
C	65	10	5
D	100	0	0
E	0	5	2,5
F	50	17	10
G	80	17	10
H	120	0	0

Tabelle 2 - Wertebereich für Beschleunigungsimpulse für mittelschwere Lkw und Midi-Busse

	Time ms	Acceleration (longitudinal) g	Acceleration (transversal) g
A	20	0	0
B	50	6,6	5
C	65	6,6	5
D	100	0	0
E	0	4	2,5
F	50	12	10
G	80	12	10
H	120	0	0

Tabelle 3 - Wertebereich für Beschleunigungsimpulse für Schwerlastwagen und Busse

b) Akku oder Systemprüfung bei Einbau in ein Fahrzeug

Für die Prüfung des Prüflings, wenn er in einem Fahrzeug installiert ist, wie es für den normalen Betrieb vorgesehen ist, gelten die relevanten nationalen oder regionalen Vorschriften über Fahrzeugunfallprüfungen.

Für mittelschwere Lkw, Midi-Busse, Schwerlastwagen und Busse gilt ein vom Fahrzeughersteller bestimmtes und dem Fahrzeugantrag geprüftes Testprofil.

Wenn ein Fahrzeugaufbau oder ein Batteriesatz oder eine Systemschutzvorrichtung (z. B. Schutzrahmen) als Teil oder alle Batteriepack- oder Systemgehäuse verwendet wird, kann diese Fahrzeugstruktur in den Test aufgenommen werden

8.1.3 Anforderungen

Für die Option 8.1.2 a) gelten die Anforderungen nach 5.5 der Norm.

Für die Option 8.1.2 b) gelten die einschlägigen Anforderungen der nationalen oder regionalen Nachkampfsicherheitsbestimmungen.

8.2 Kontaktkraft beim Fahrzeugcrash

8.2.1 Zweck

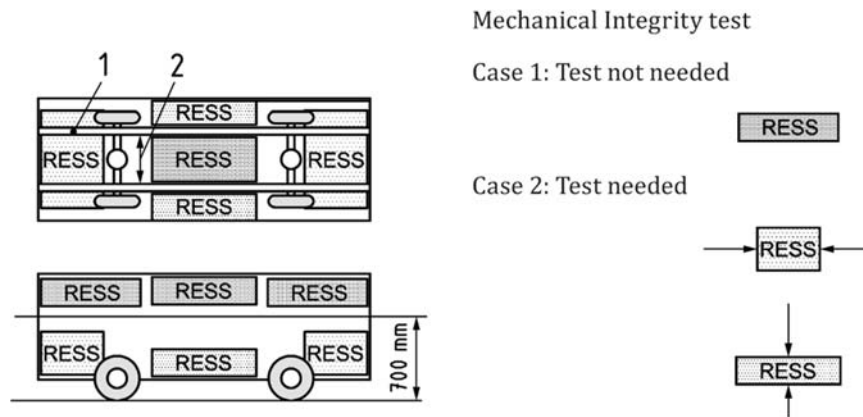
Der Zweck dieses Tests ist es, die Sicherheitsleistung des Prüflings unter Kontaktkräften zu überprüfen, die bei einem Fahrzeugunfall auftreten können.

Dieser Test kann entfallen, wenn für den Test nach 8.1 der fahrzeugbasierte Test nach Option 8.1.2 b) durchgeführt wird.

8.2.2 Prüfverfahren

Bei Fahrzeugen mit einer Bruttomasse von mehr als 3,5 t gilt diese Prüfung nur für den Prüfling, wenn sie an einer Stelle unter 700 mm vom Boden (gemessen an der Unterseite der RESS) installiert werden soll, siehe Abbildung 2

Dieser Test gilt nicht, wenn der Prüfling in einer Längsrahmenkonstruktion in Fahrzeugen mit einer Bruttomasse von mehr als 7,5 t installiert werden soll, siehe Abbildung 2.



1 Rahmen; 2 Rahmenzwischenraum

Abbildung 2 - Anwendung der mechanischen Integritätstest auf RESS bezüglich RESS-Position

weitere Angaben: Siehe Norm (ISO 12405-3, S. 15–17)

1.7 Crash-Prüfung – weitere Normen

- Crash-Prüfung bei Fahrzeugen nach SAE J 1766

1.8 Quetsch-Prüfung bei Batterien nach DIN EN 62660-2

DIN EN 62660-2: Lithium-Ionen-Sekundärzellen für den Antrieb von Elektrostrassenfahrzeugen - Teil 2: Zuverlässigkeits- und Missbrauchsprüfung

6.1.3 Quetschen

Diese Prüfung wird durchgeführt, um das Verhalten der Zelle bei Verformung durch äußere Kräfte zu charakterisieren.

6.1.3.1 Prüfung

Die Prüfung muss wie nachfolgend beschrieben durchgeführt werden.

- Nach 5.3 ist der Ladezustand der Zelle für die Anwendung in Batteriefahrzeugen auf 100% und in Hybridfahrzeugen auf 80 % einzustellen.
- Die Zelle ist auf einer isolierten, ebenen Fläche anzuordnen und mit einem Quetschwerkzeug in Form eines runden oder halbrunden Stabes bzw. einer Kugel oder Halbkugel mit einem **Durchmesser von 150mm** zu quetschen. Die Verwendung des Rundstabs wird zum Quetschen einer zylindrischen Zelle, die der **Kugel für eine prismatische Zelle** empfohlen. Die für das Quetschen erforderliche **Kraft ist annähernd senkrecht** zu der Seite einer aus positiven und negativen Elektroden bestehenden Schicht im Inneren der Zelle aufzubringen. Das Quetschwerkzeug ist so zu wählen, dass sich die Zelle annähernd proportional zur Zunahme der Quetschkraft verformt.
- Die **Kraft ist zu lösen**, wenn ein **abrupter Spannungsfall** von einem Drittel der ursprünglichen Zellenspannung erfolgt oder eine **Verformung von 15%** gegenüber dem anfänglichen Zellenmaß auftritt. Die **Quetschkraft** sollte auf maximal das **1'000-Fache der Zellenmasse** begrenzt werden. Die

Dauer der Prüfbeanspruchung beträgt 24h oder bis die **Gehäusetemperatur sich um 20 % der maximalen Erwärmung verringert** hat, je nachdem, was früher eintritt.

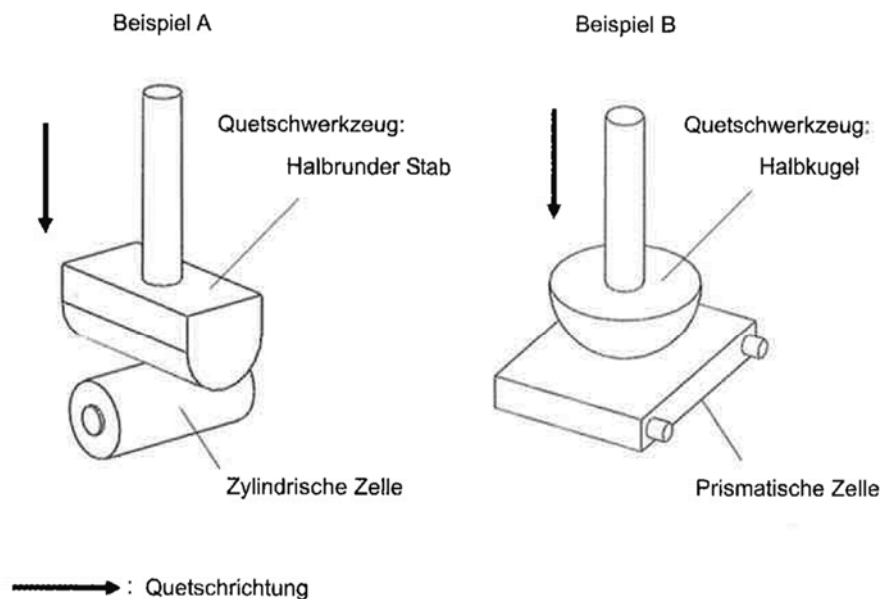


Bild 3 – Beispiele für die Quetschprüfung

6.1.3.2 Prüfergebnisse

Folgende Größen sind zu messen und als Prüfergebnisse aufzuzeichnen: Form des Quetschwerkzeugs; Quetschgeschwindigkeit; Zellenspannung während der Prüfung; Zellentemperatur während der Prüfung; Zustand der Zelle am Ende der Prüfung nach der in Abschnitt 7 festgelegten Beschreibung (DIN EN 62660-2, S. 16–17)

1.9 Quetsch-Prüfung bei Batterien – weitere Normen

- Quetsch-Prüfung bei Batterien nach SAE J 2464
- Quetsch-Prüfung bei Batterien nach UN 38-3

1.10 Steinschlag-Prüfung nach VW 80000

VW 80'000: Volkswagen - Elektrische Eigenschaften und elektrische Sicherheit von Hochvolt-Komponenten - Anforderungen und Prüfungen

8.2 M-02 Steinschlagprüfung

8.2.1 Zweck

Diese Prüfung simuliert die mechanische Beanspruchung der Komponente durch Splittbewurf.

Sie dient der Absicherung der Beständigkeit der Komponente gegenüber Fehlerbildern wie z. B. Deformation und Risse.

8.2.2 Prüfung

Durchführung der Prüfung in Anlehnung an DIN EN ISO 20567-1 mit folgenden Parametern:

Tabelle 47: Prüfparameter M-02 Steinschlagprüfung

Betriebsart des Prüflings	Betriebsart I.a
Menge Strahlungsmittel	500 g
Prüfdruck	2 bar
Beschussmaterial	Hartgussgranulat nach DIN EN ISO 11124-2, Korngröße 4 bis 5 mm
Prüffläche auf Prüfling	Alle im Fahrzeug frei zugänglichen Flächen
Auftreffwinkel	54° zur Strahlrichtung
Prüfeinrichtung	Multisteinschlagprüfgerät nach DIN EN ISO 20567-1
Anzahl der Zyklen	2
Anzahl der Prüflinge	6

8.2.3 Anforderung

Der Prüfling muss vor und nach der Prüfung voll funktionsfähig sein und alle Parameter müssen innerhalb der Spezifikation liegen. Der Nachweis erfolgt durch einen Parametertest (klein) gemäß Kapitel 5.5.

Zusätzlich muss der Prüfling mit bloßem Auge visuell untersucht und durch Schütteln auf gelockerte oder klappernde Teile geprüft werden.

Veränderungen/Beschädigungen sind im Prüfbericht zu dokumentieren und mit dem Auftraggeber zu bewerten.

Eine Auswertung nach Kennwerten DIN EN ISO 20567-1 ist nicht erforderlich.

(VW 80000 DE_2009-10-01, S. 58)

1.11 Fallkörper-Prüfung nach DIN EN ISO 3449

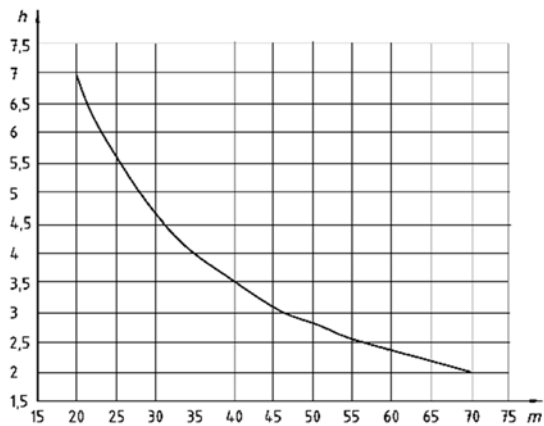
DIN EN ISO 3449: Erdbaumaschinen – Schutzaufbauten gegen herabfallende Gegenstände – Prüfungen und Anforderungen

Zwei Stufen von Anforderungskriterien werden zum Schutz gegen Fall spezifiziert, die auf dem Endgebrauch der Maschine basieren:

- a) **Stufe I:** Schutz gegen **Fall eines runden Fallprüfkörpers** aus einer Höhe, bei der eine **Energie von 1'365 J** erzielt wird, siehe Bilder 1a) und 2a)
- b) **Stufe II:** Schutz gegen **Fall eines zylindrischen Fallprüfkörpers** aus einer Höhe, bei der eine **Energie von 11'600 J** erzielt wird, siehe Bilder 1b) und 2b).

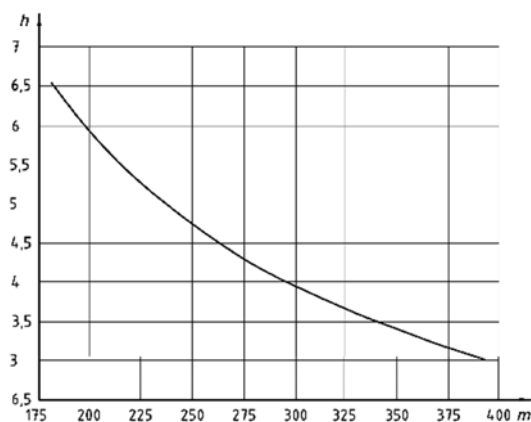
a) Stufe I Energieanforderungskurve

Die Fallhöhe des Fallprüfkörpers richtet sich nach dessen Masse, wie in Bild 1 dargestellt.



Beispiel: $45 \text{ kg} \times 9,807 \text{ m/s}^2 \times 3,1 \text{ m} \approx 1\,365 \text{ J}$

b) Stufe II Energieanforderungskurve



BEISPIEL: $227 \text{ kg} \times 9,807 \text{ m/s}^2 \times 5,22 \text{ m} \approx 11\,600 \text{ J}$

Legende

h: Höhe in m; m: Masse in kg

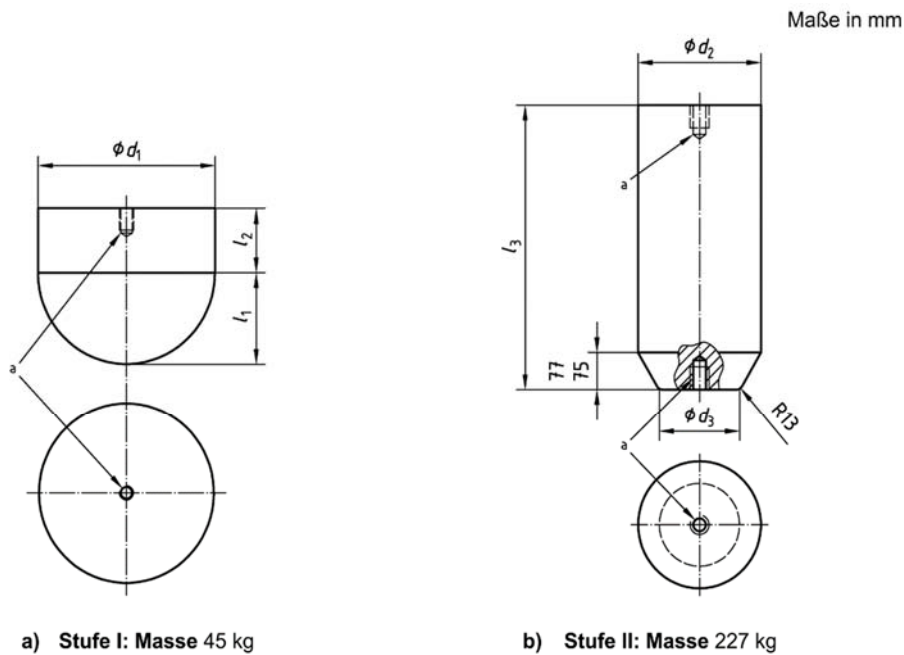
Bild 1 — Höhe und Masse des Fallprüfkörpers, der Energieanforderungen entwickelt

5 Prüfungen

5.1 Prüfeinrichtung

5.1.1 Fallprüfkörper, dessen Eindringfläche so beschaffen sein muss, dass bei diesem keine Deformation während der Prüfung auftritt und der – bei Prüfungen der Stufe I aus beruhigtem **Stahl** besteht oder einen verformbaren Stahlzylinder mit einer **Masse von 45 kg** und einem **kugelförmigen Oberflächenkontaktdurchmesser** zwischen **200 mm und 250 mm** wie in Bild a) dargestellt, aufweist und

– bei Prüfungen der Stufe II aus beruhigtem Stahl besteht oder einen verformbaren **Stahlzylinder mit einer Masse von 227 kg**, wie in Bild 2b) dargestellt, aufweist.



Legende

d_1	204 mm	l_1	≈ 102 mm
d_2	255 mm bis 260 mm	l_2	≈ 109 mm
d_3	203 mm bis 204 mm	l_3	≈ 584 mm

ANMERKUNG 1 Aktuelle Maße sind hier als Beispiele gegeben.

ANMERKUNG 2 Alle spezifizierten Maße sind variabel in Abhängigkeit von Verhältnis der Prüfkörpermasse zur Fallhöhe, um die in 4 a) und b) vorgegebene Energie erreichen zu können. Maße des Fallprüfkörpers werden unter Berücksichtigung seiner Masse und Fallhöhe (wie in Bild 1 bestimmt) bestimmt, um die vorgegebene Energie zu erreichen.

1.12 Prüfung Sonnenbestrahlung nach VW 80000

VW 80'000: Volkswagen - Elektrische Eigenschaften und elektrische Sicherheit von Hochvolt-Komponenten - Anforderungen und Prüfungen

9.17 K-17 Sonnenbestrahlung

9.17.1 Zweck

Diese Prüfung simuliert den Einfluss von Sonnenbestrahlung und UV-Licht auf die Komponente.

Sie dient der Absicherung der Beständigkeit der Komponente gegen Schädigung durch Materialermüdung wie z. B. Risse und Verfärbungen.

9.17.2 Prüfung

Durchführung der Prüfung gemäß DIN 75220 mit folgenden Parametern:

Tabelle 77: Prüfparameter K-17 Sonnenbestrahlung

Betriebsart des Prüflings	Betriebsart I.a
Verwendete Prüfprofile	Die Prüfprofile nach DIN 75220 werden abhängig vom Einbauraum der Komponente angewendet.
Komponenten im Außenraum	Verwendung des Profils Z-Out gemäß Tabelle 2 und Tabelle 5 der DIN 75220
Komponenten im Innenraum	Verwendung des Profils Z-IN nach DIN 75220
Prüfdauer	25 Tage (15 Tage trocken, 10 Tage feucht)
Anzahl der Zyklen	1
Anzahl der Prüflinge	6

9.17.3 Anforderung

Der Prüfling muss vor und nach der Prüfung voll funktionsfähig sein und alle Parameter müssen innerhalb der Spezifikation liegen. Der Nachweis erfolgt durch einen Parametertest (groß) gemäß Kapitel 5.5.

Zusätzlich muss der Prüfling mit bloßem Auge visuell untersucht werden. Veränderungen oder Beschädigungen sind im Prüfbericht zu dokumentieren und mit dem Auftraggeber zu bewerten. (VW 80000 DE_2009-10-01, S. 97)

1.13 Prüfung Sonnenbestrahlung – weitere Normen

- Prüfung Sonneneinstrahlung nach DC 10611

1.14 Prüfung Druck (Höhensimulation) bei Batterien nach UN 38-3

UN 38-3: Transport of dangerous goods - Teil 3: Lithium metal and lithium ion batteries

38.3.4.1.2

Test T.1: Höhensimulation

Zweck

Dieser Test simuliert den Lufttransport unter Niederdruckbedingungen.

Testprozedur

Testzellen und Batterien müssen bei einem Druck von 11,6 kPa oder weniger für mindestens sechs Stunden bei Umgebungstemperatur (20 ± 5 °C) gelagert werden.

38.3.4.1.3

Anforderung

Zellen und Batterien erfüllen diese Anforderung, wenn es keine Leckage, keine Entlüftung, keine Demontage, kein Bruch und kein Feuer gibt und wenn die Leerlaufspannung jeder Testzelle oder Batterie nach dem Testen nicht weniger als 90% ihrer Spannung unmittelbar vorher ist Verfahren. Die Anforderung an die Spannung gilt nicht für Prü fzellen und Batterien in vollständig entladenen Zuständen.

(UN 38-3 - United Nations, S. 7)

1.15 Dichtheitsprüfung (Salzsprühnebel) nach VW 80000

VW 80'000: Volkswagen - Elektrische Eigenschaften und elektrische Sicherheit von Hochvolt-Komponenten - Anforderungen und Prüfungen

9.6 K-06 Salzsprühnebelprüfung mit Betrieb, Außenraum 9.6.1 Zweck

Diese Prüfung simuliert die Beanspruchung der Komponente mit salzhaltiger Luft und salzhaltigem Wasser, wie sie in bestimmten Regionen der Erde und bei winterlichen Straßenverhältnissen auftreten können.

Sie dient der Absicherung der Komponente gegenüber Fehlfunktion unter Salzbelastung z. B. durch Kurzschlüsse und Leckströme aufgrund Eindringens von Salz in die Komponente.

9.6.2 Prüfung

Durchführung der Prüfung gemäß DIN EN 60068-2-11 Ka mit folgenden Parametern:

Tabelle 64: Prüfparameter K-06 Salzsprühnebelprüfung mit Betrieb, Außenraum

Betriebsart des Prüflings	Während der Besprühphase: Intermittierend jeweils 1 h Betriebsart II.a und 1 h Betriebsart II.c.
Prüftemperatur	35°C
Prüfzyklus	Jeder Prüfzyklus besteht aus 8 h Besprühphase und 4 h Ruhezeit gemäß Bild 28
Anzahl der Prüfzyklen	Für Komponenten am Unterboden/Motorraum: 12 Zyklen Für sonstige Komponenten: 8 Zyklen
Anzahl der Prüflinge	6

Bei der Durchführung der Prüfung ist die Einbaulage der Komponente im Fahrzeug nachzubilden.

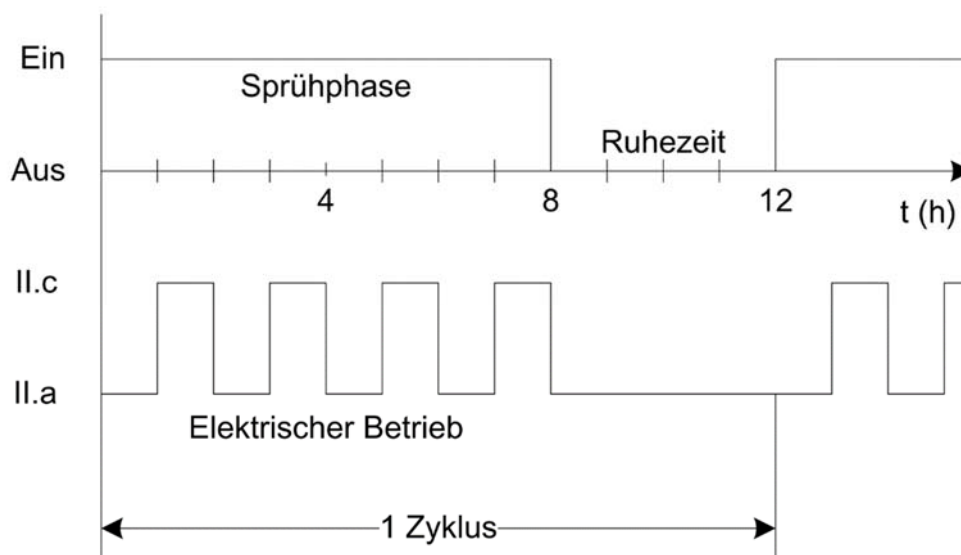


Bild 28: Salzsprühnebelprüfung mit Betrieb, Außenraum - Besprühphasen

9.6.3 Anforderung

Der Prüfling muss vor, während und nach der Prüfung voll funktionsfähig sein und alle Parameter müssen innerhalb der Spezifikation liegen. Der Nachweis erfolgt durch kontinuierliche Parameterüberwachung und einen Parametertest (klein) gemäß Kapitel 5.5. (VW 80000 DE_2009-10-01, S. 77–78)

1.16 Dichtheitsprüfung gegen Regen, Spritz- und Tauwasser nach VW 80000

9.10 K-10 Wasserschutz – IPX0 bis IPX6K

9.10.1 Zweck

Diese Prüfung simuliert die Beanspruchung der Komponente mit Wasser. Sie dient der Absicherung der Funktion der Komponente z. B. bei der Beaufschlagung mit Tauwasser, Regen, Spritzwasser.

9.10.2 Prüfung

Durchführung der Prüfung gemäß ISO 20653 mit folgenden Parametern:

Tabelle 68: Prüfparameter K-10 Wasserschutz – IPX0 bis IPX6K

Betriebsart des Prüflings	Intermittierend, jeweils 1 min Betriebsart II.a und 1 min Betriebsart II.c
Geforderter Schutzgrad	Wie im Komponentenlastenheft festgelegt

9.10.3 Anforderung

Der im Komponentenlastenheft geforderte Schutzgrad nach ISO 20653 muss erreicht werden.

Es darf kein Wasser eindringen. Der Prüfling darf erst nach Abschluss der gesamten Prüfsequenz geöffnet werden.

Der Prüfling muss vor, während und nach der Prüfung voll funktionsfähig sein und alle Parameter müssen innerhalb der Spezifikation liegen. Der Nachweis erfolgt durch kontinuierliche Parameterüberwachung und einen Parametertest (klein) gemäß Kapitel 5.5.

(VW 80000 DE_2009-10-01, S. 83)

1.17 Dichtheitsprüfung bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung nach VW 80000

9.11 K-11 Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung

9.11.1 Zweck

Diese Prüfung simuliert die Beanspruchung der Komponente mit Wasser während der Fahrzeugreinigung. Sie dient der Absicherung der Funktion der Komponente bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung.

9.11.2 Prüfung

Durchführung der Prüfung gemäß ISO 20653 mit folgenden Parametern:

Betriebsart des Prüflings	Betriebsart II.a
Geforderter Schutzgrad	IP X9K
Wasserdruck	Der Mindestdruck für den Dampfstrahl beträgt 10000kPa (100 bar), gemessen unmittelbar an der Düse..
Wassertemperatur	80°C
Durchführung	Der Prüfling muss aus jeder am Fahrzeug frei zugänglichen Raumrichtung bestrahlt werden.
Anzahl der Prüflinge	6

Tabelle 69: Prüfparameter

9.11.3 Anforderung

Der Schutzgrad IP X9K ist nach ISO 20653 ist zu erreichen.

Es darf kein Wasser eindringen. Der Prüfling darf erst nach Abschluss der gesamten Prüfsequenz gemäß Prüfablaufplan (Kapitel 7.2) geöffnet werden.

Der Prüfling muss vor, während und nach der Prüfung voll funktionsfähig sein und alle Parameter müssen innerhalb der Spezifikation liegen. Der Nachweis erfolgt durch kontinuierliche Parameterüberwachung und einen Parametertest (klein) gemäß Kapitel 5.5. (VW 80000 DE_2009-10-01, S. 84)

1.18 Dichtheitsprüfung – weitere Normen

- Dichtheitsprüfung Salzsprühnebel nach DC 10611
- Dichtheitsprüfung bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung nach DC 10611
- Dichtheitsprüfung Salzwasser (Eintauchen) nach DC 10611
- Dichtheitsprüfung (Eintauchen) nach SAE J 2464
- Dichtheitsprüfung (Roll-over) nach SAE J 2464

1.19 Belüftung Batterieraum nach ECE R-100

ECE-R 100: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge hinsichtlich der besonderen Anforderungen an die Bauweise und die Betriebssicherheit

Die Antriebsbatterie muss so in das Fahrzeug eingebaut sein, dass eine gefährliche Ansammlung von Gasblasen nicht möglich ist. Batterieräume die Batterieeinheiten enthalten, die gefährliche Gase erzeugen können, müssen gut belüftet werden.

(ECE-R-100, S. 9)

1.20 Schutzmassnahme Gasbildung Säure nach EN 474-1

EN 474-1, Normenausschuss Maschinenbau (NAM) (2009): Erdbaumaschinen – Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. EN 474-1:2006+A4:2013

Batterien und/oder die Batterieunterbringung müssen so konstruiert und ausgeführt oder abgedeckt sein, damit jede Gefährdung des Maschinenführers durch Batteriesäure oder Säuredämpfe im Falle eines Umsturzes der Maschine minimiert wird.

(EN 474-1, Normenausschuss Maschinenbau (NAM) 2009, S. 30)

2 Einzelne Messungen aufgezeichnet

Wann und wie welche Messung durchgeführt wurde kann aus dem jeweiligen Mess-Journalen entnommen werden.

2.1 Dumper im Neutralgang stehend

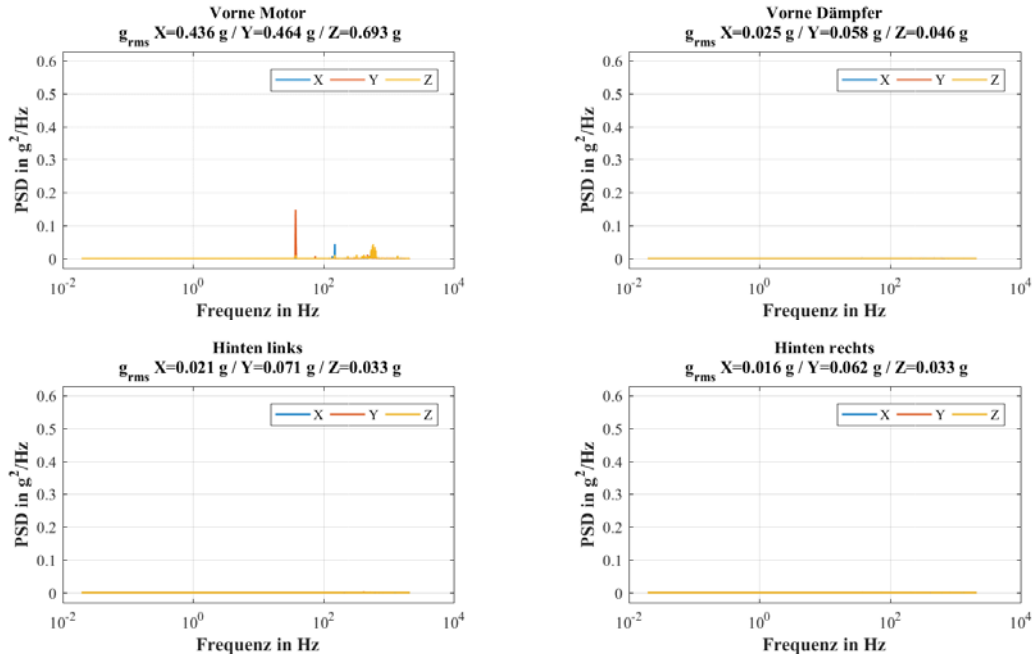


Abbildung 1: Frequenzspektrum: Motor im Standgas, Dumper im Neutralgang

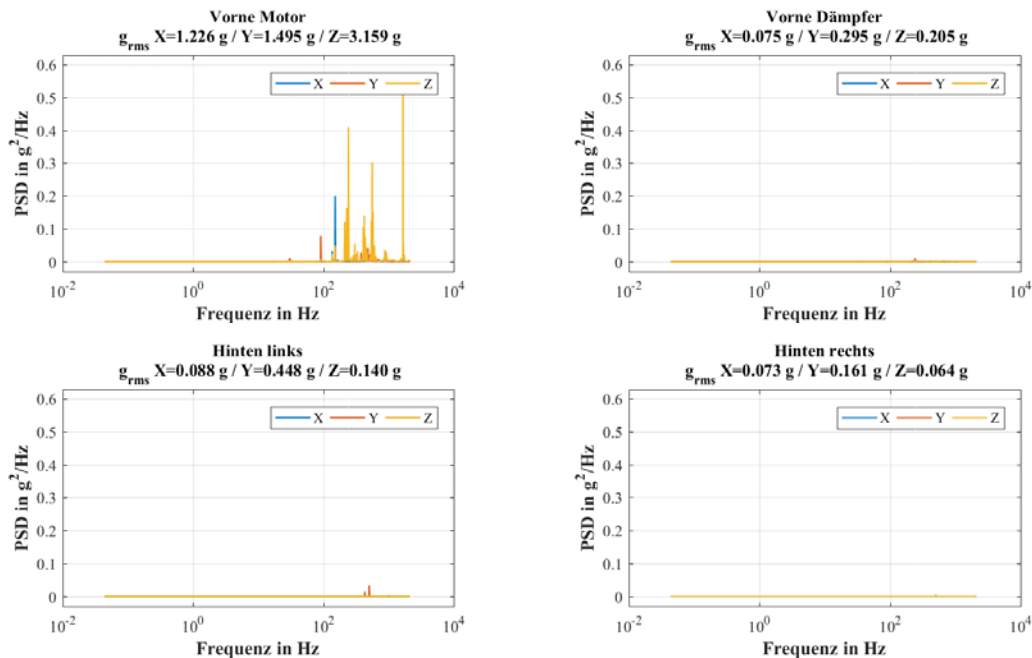


Abbildung 2: Frequenzspektrum: Motor bei 1800 U/min, Dumper im Neutralgang

2.2 Beladen

2.2.1 Erste Beladung

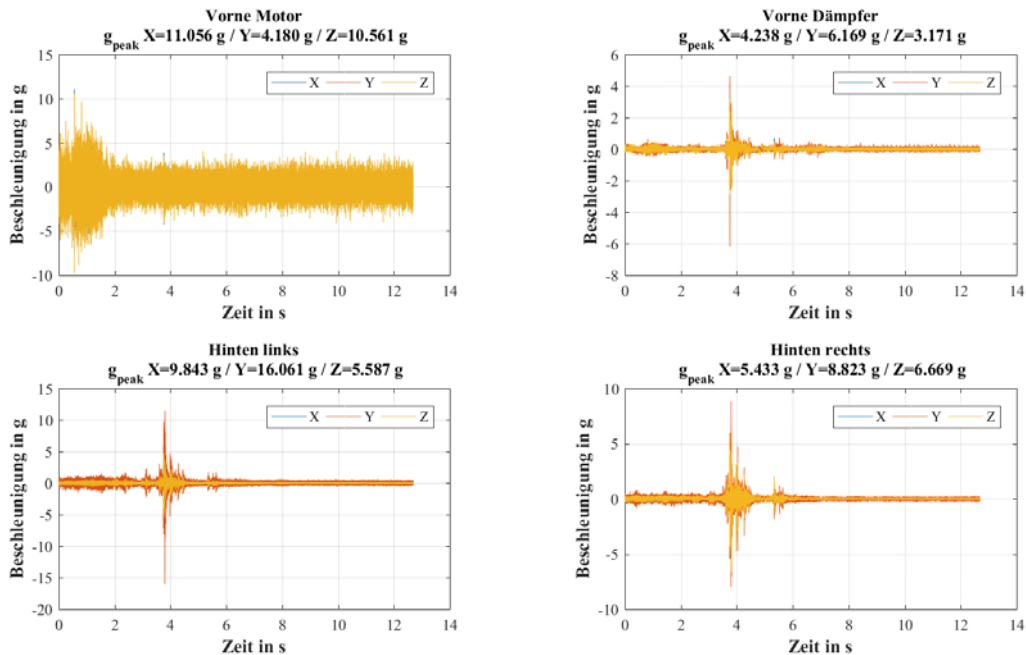


Abbildung 3: Ladevorgang erste Schaufel. Daten aus «Beladen.txt» von 31.01.2017

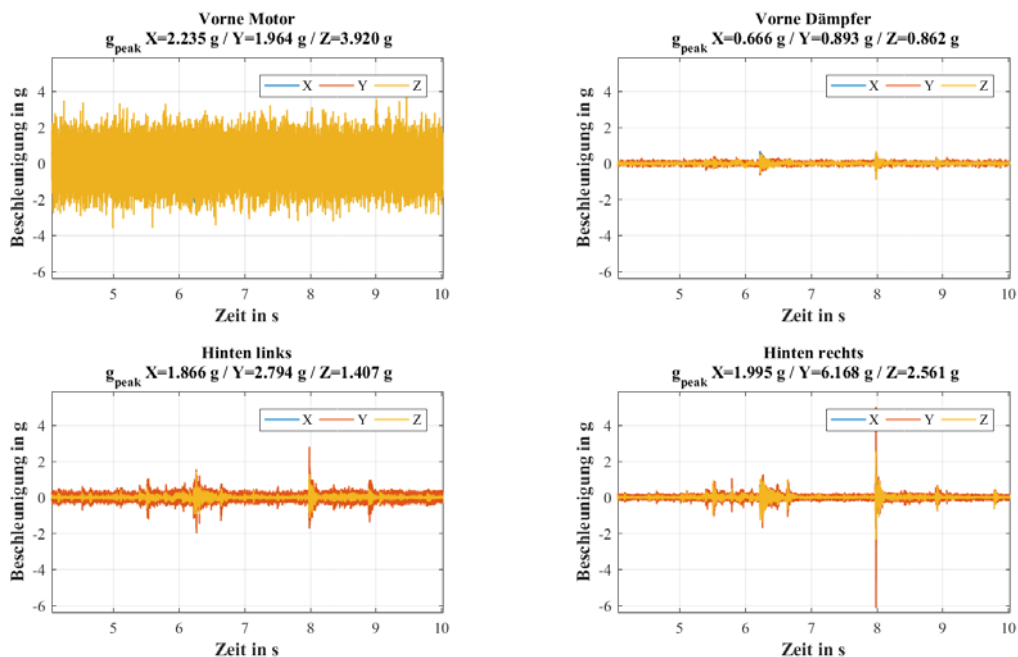


Abbildung 4: Ladevorgang zweite Schaufel. Daten aus «Beladen_1.txt» von 31.01.2017

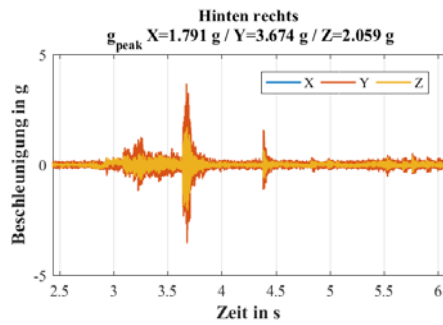
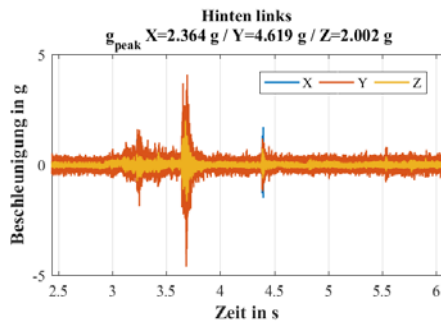
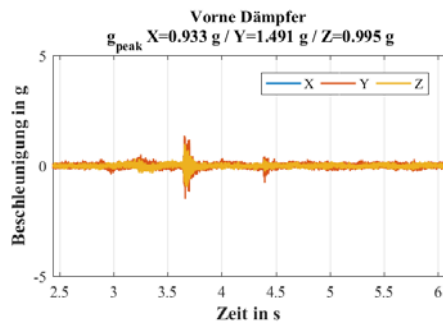
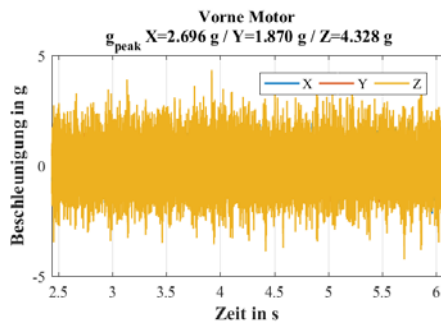


Abbildung 5: Ladevorgang dritte Schaufel. Daten aus «Beladen_2.txt» von 31.01.2017

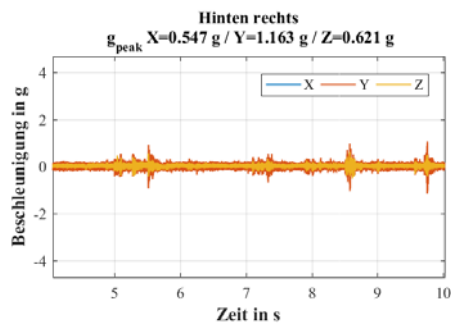
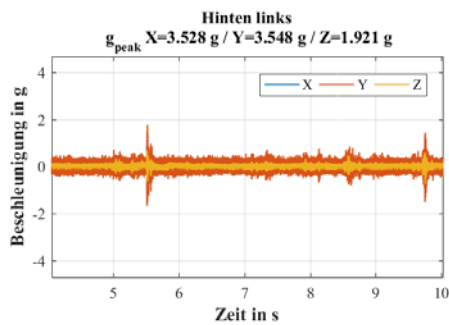
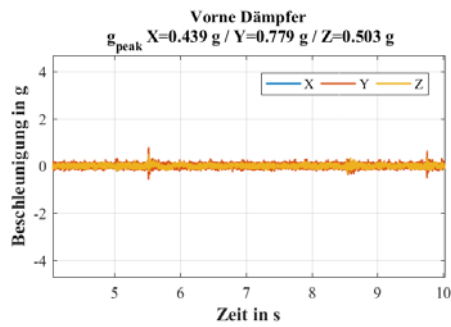
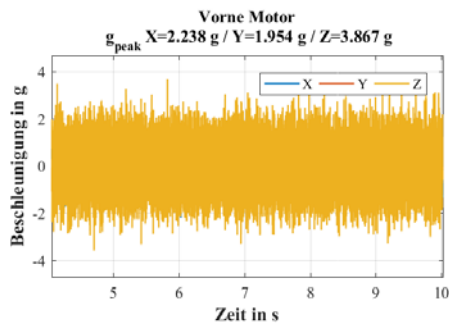


Abbildung 6: Ladevorgang vierte Schaufel. Daten aus «Beladen_3.txt» von 31.01.2017

2.2.2 Zweite Beladung

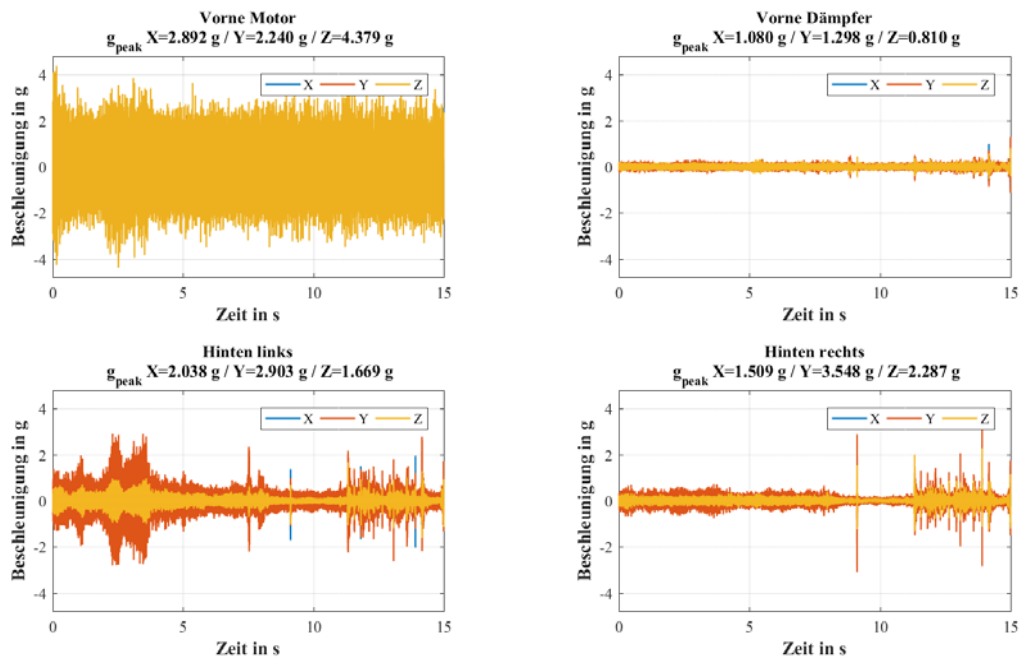


Abbildung 7: Ladevorgang erste Schaufel. Daten aus «Beladen.txt» von 01.02.2017

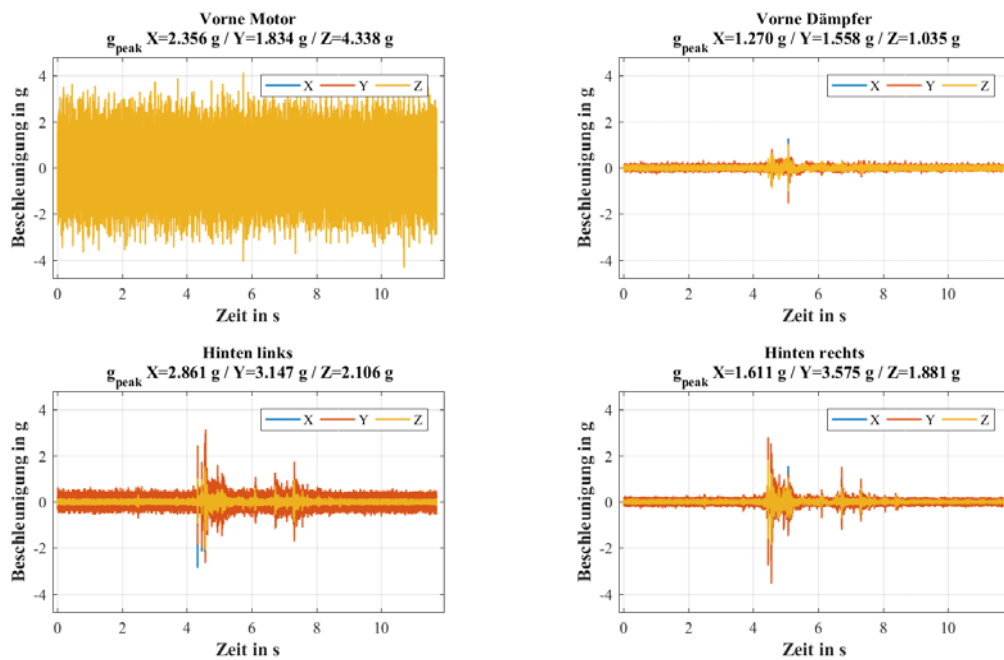


Abbildung 8: Ladevorgang zweite Schaufel. Daten aus «Beladen_1.txt» von 01.02.2017

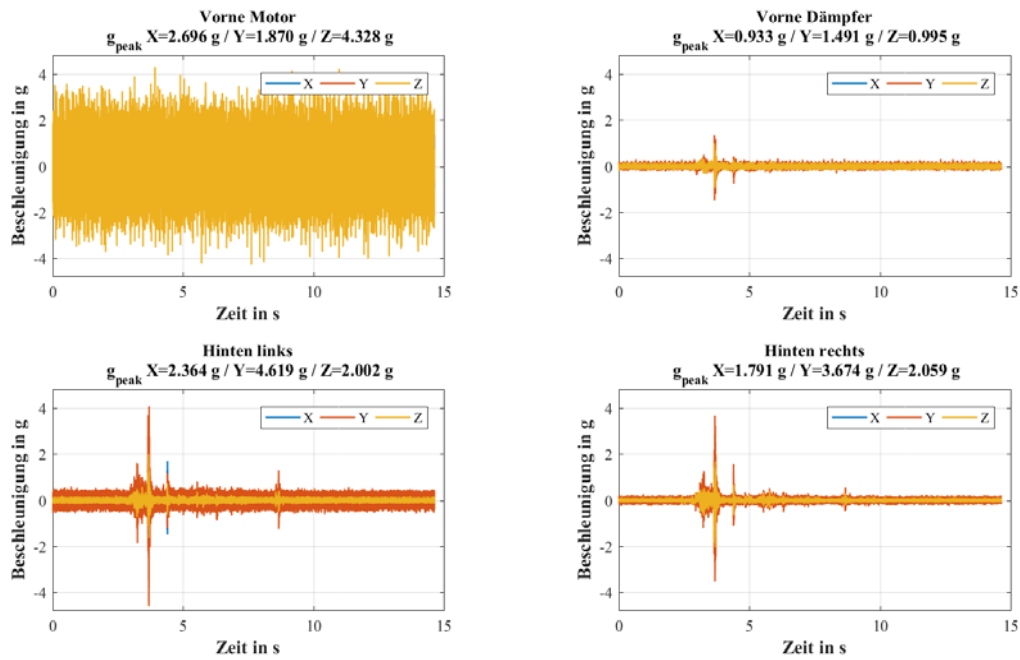


Abbildung 9: Ladevorgang dritte Schaufel. Daten aus «Beladen_2.txt» von 01.02.2017

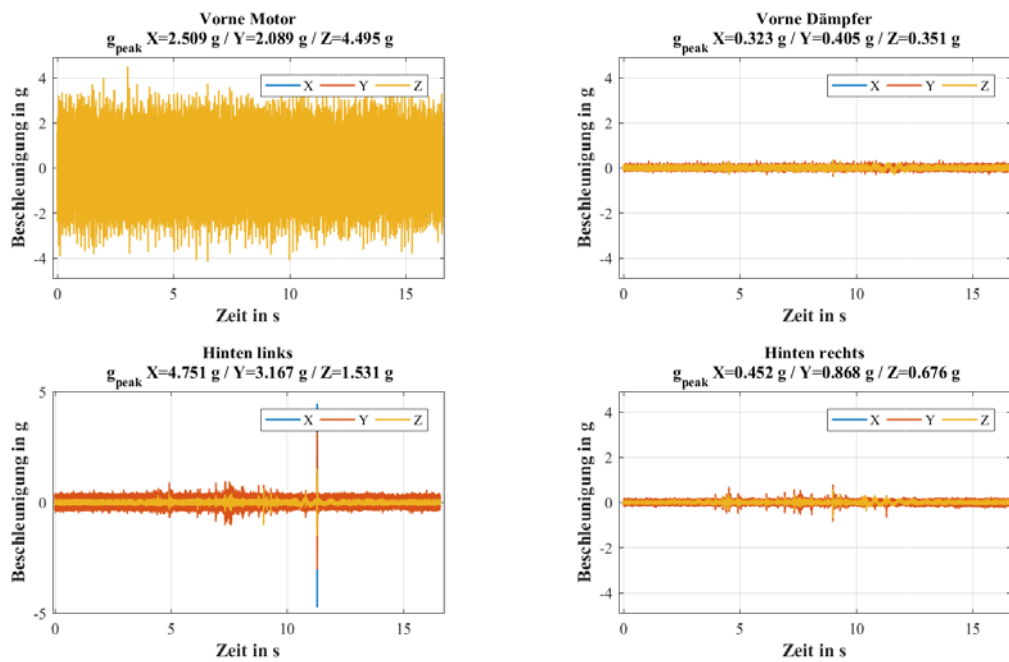


Abbildung 10: Ladevorgang vierte Schaufel. Daten aus «Beladen_3.txt» von 01.02.2017

2.2.3 Dritte Beladung

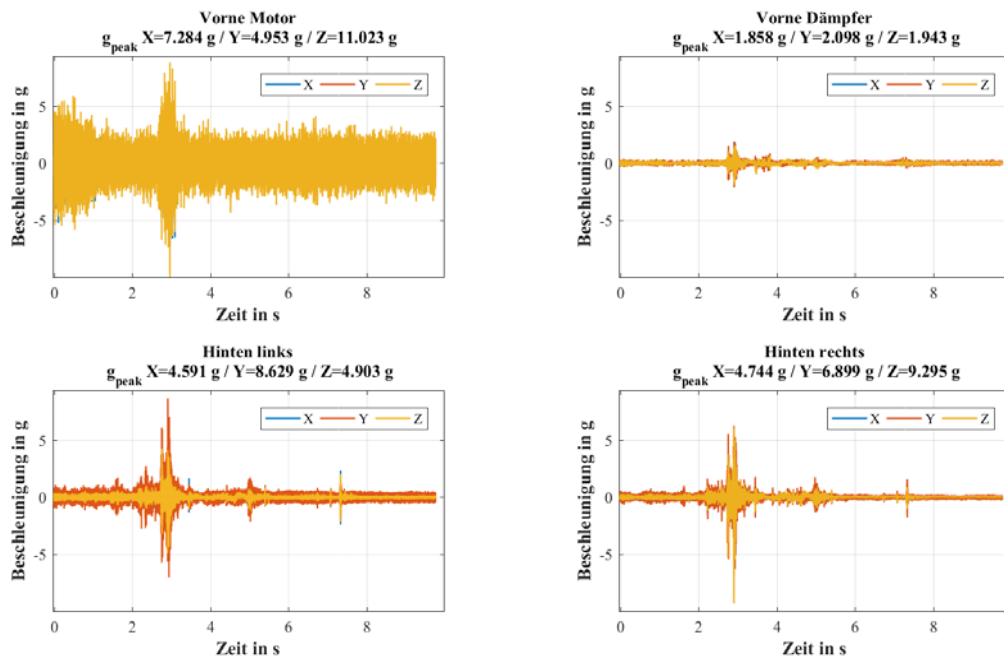


Abbildung 11: Ladevorgang erste Schaufel. Daten aus «EinLaden.txt» von 01.02.2017

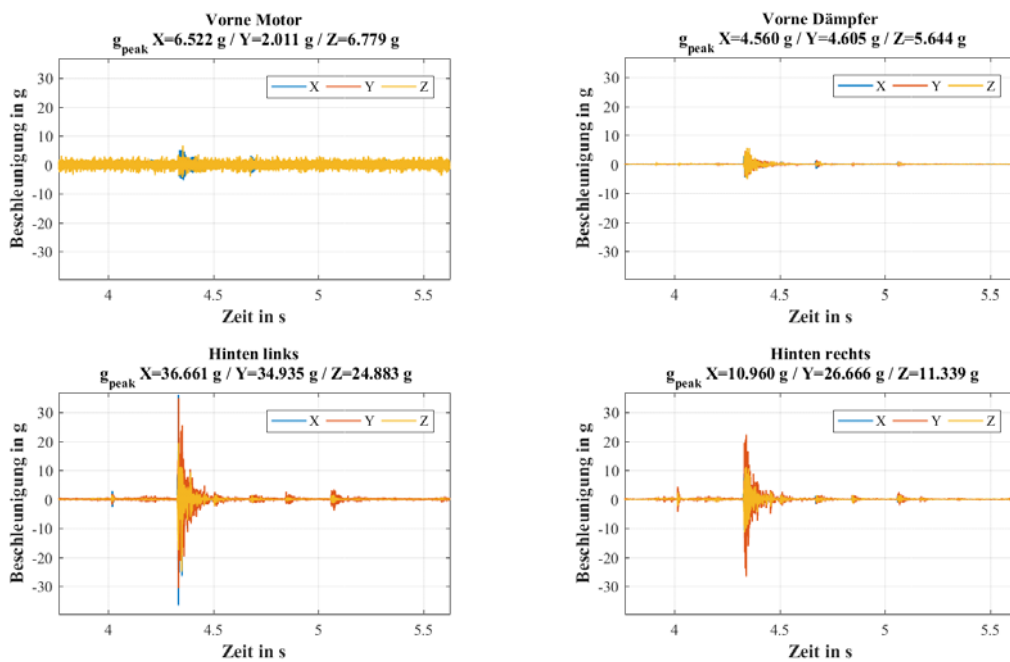


Abbildung 12: Ladevorgang zweite Schaufel. Daten aus «EinLaden_1.txt» von 01.02.2017

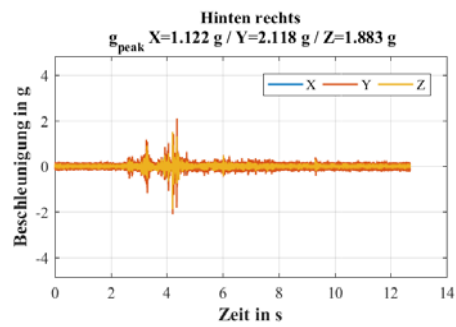
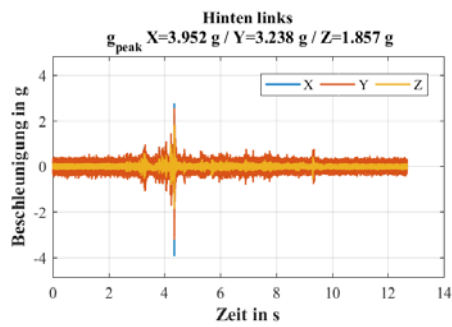
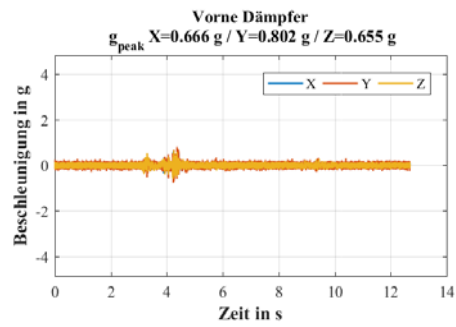
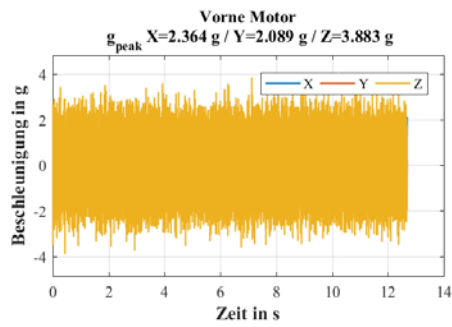


Abbildung 13: Ladevorgang dritte Schaufel. Daten aus «EinLaden_2.txt» von 01.02.2017

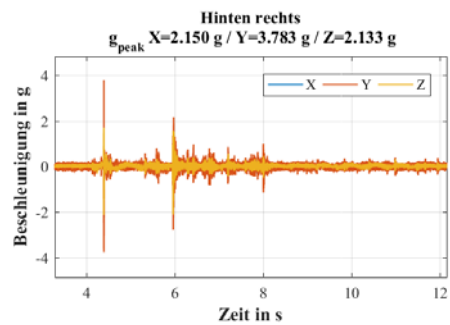
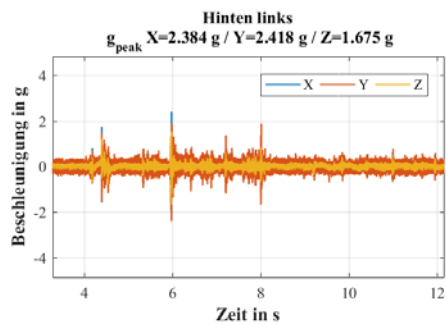
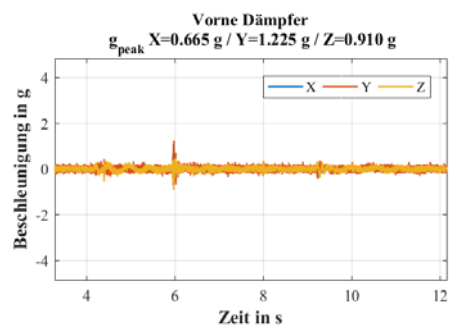
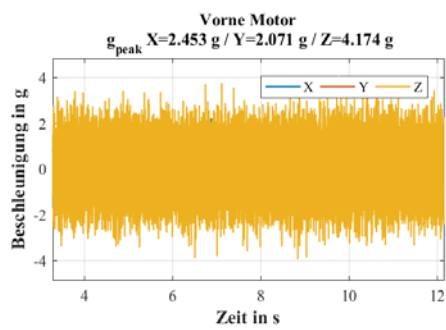


Abbildung 14: Ladevorgang vierte Schaufel. Daten aus «EinLaden_3.txt» von 01.02.2017

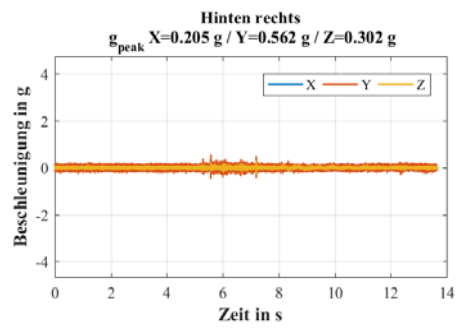
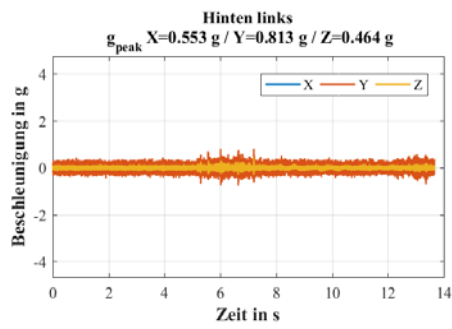
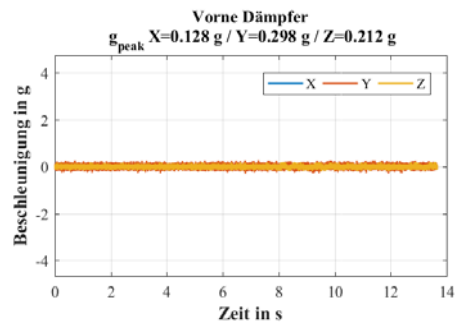
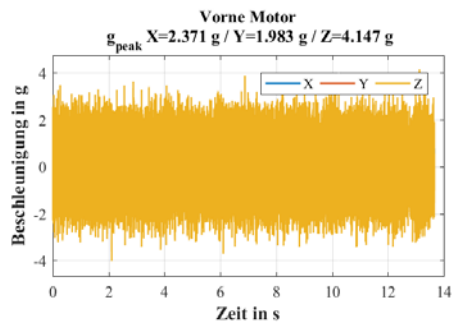


Abbildung 15: Ladevorgang fünfte Schaufel. Daten aus «EinLaden_4.txt» von 01.02.2017

2.3 Entladen

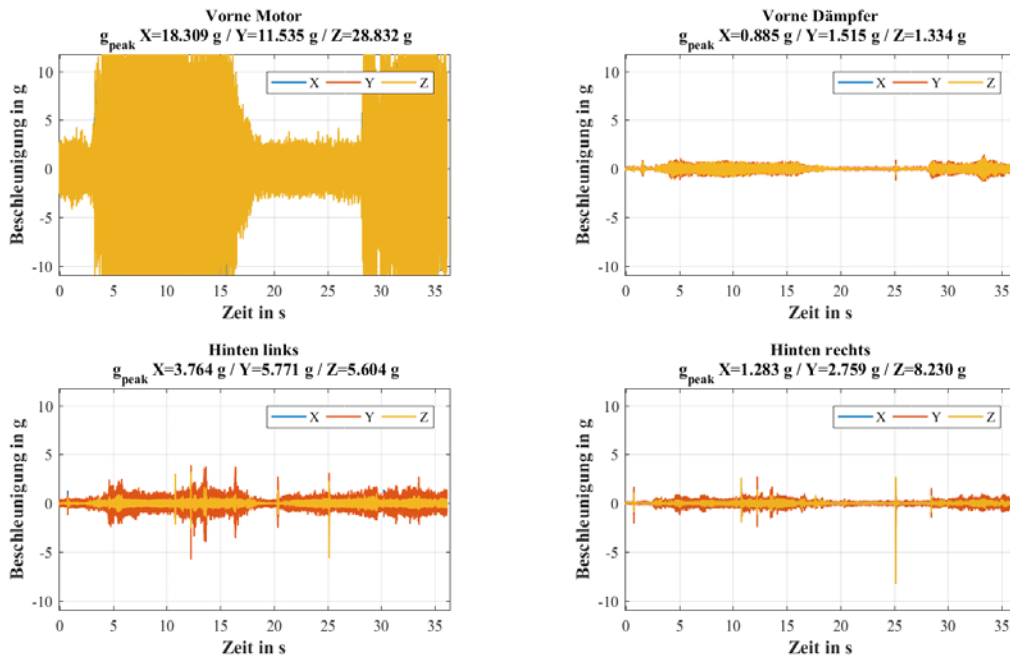


Abbildung 16: Zeitbereich erste Entladung aus Messung «entladen.txt»

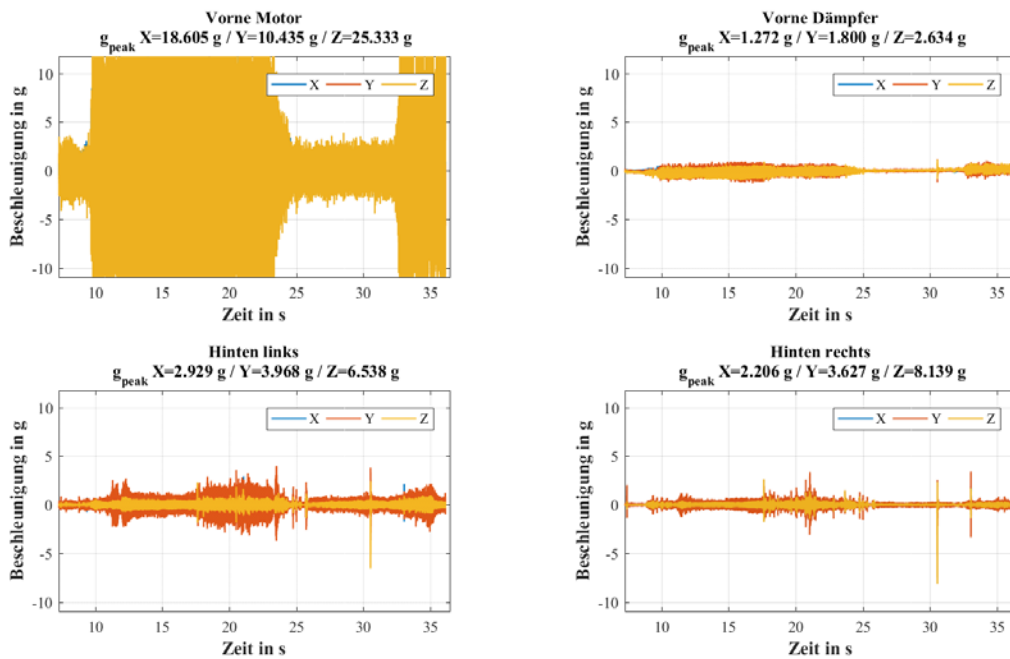


Abbildung 17: Zeitbereich zweite Entladung aus Messung «entladen_1_Cut.txt»

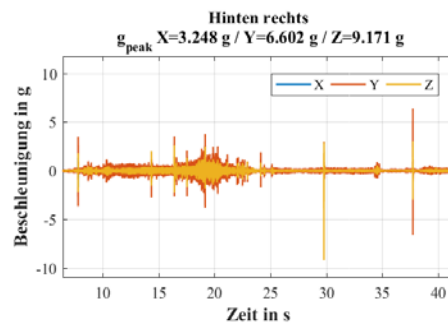
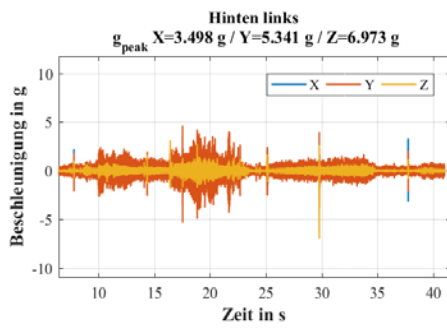
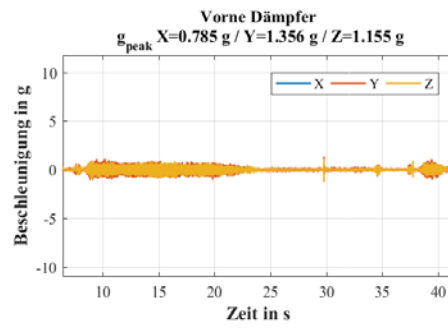
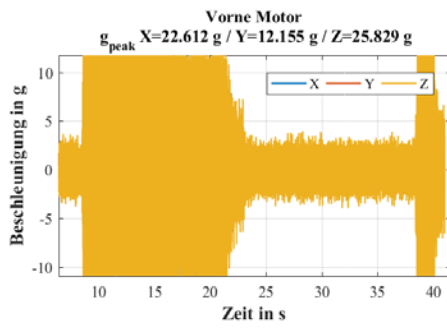


Abbildung 18: Zeitbereich dritte Entladung aus Messung «entladen_2.txt»

2.4 Vollbremsung Leer

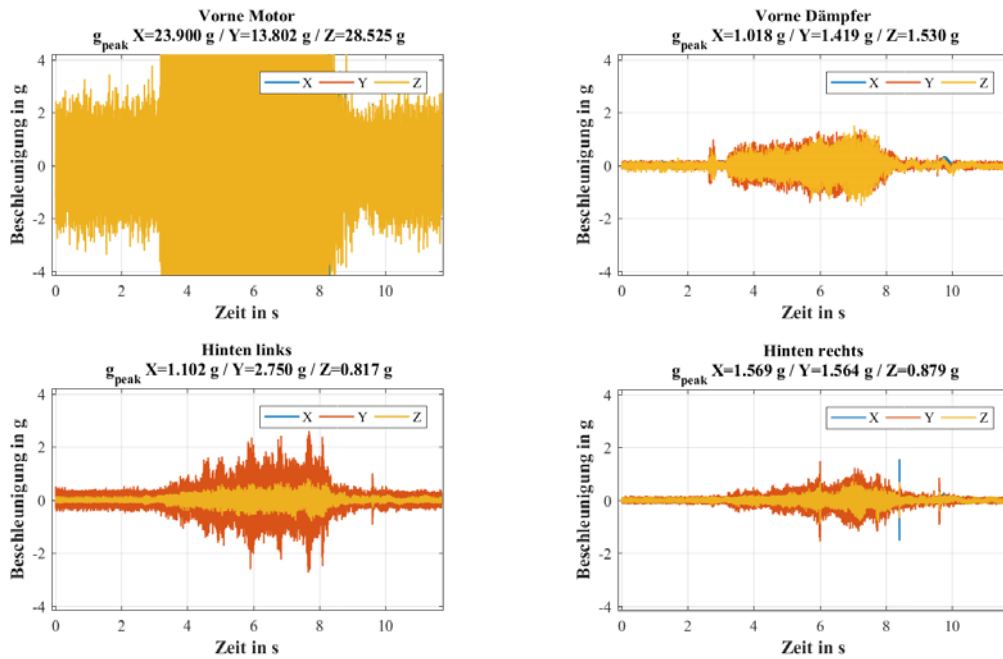


Abbildung 19: Zeitdaten Messung "VollbremsungLeer.txt"

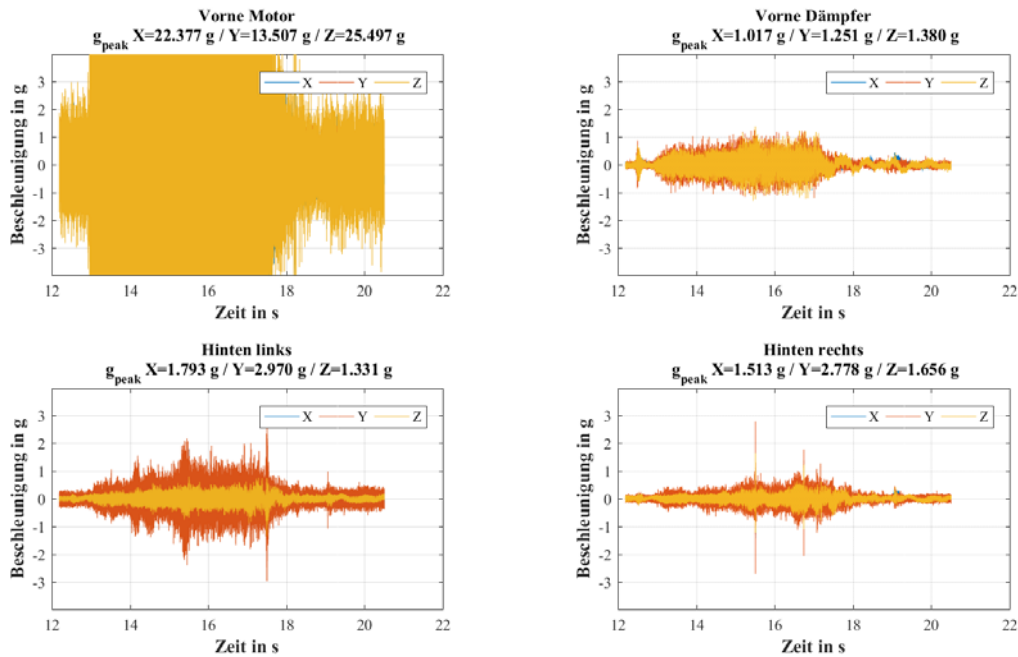


Abbildung 20: Zeitdaten Messung "VollbremsungLeer_1_Cut.txt"

2.5 Vollbremsung Beladen

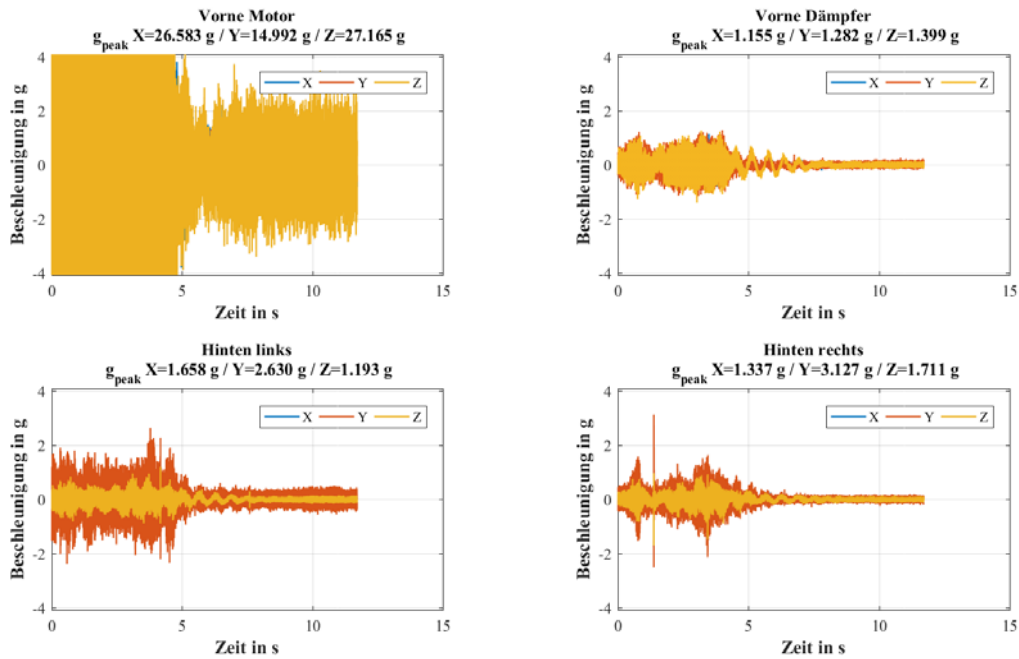


Abbildung 21: Zeitdaten aus Messung "Vollbremsungen.txt"

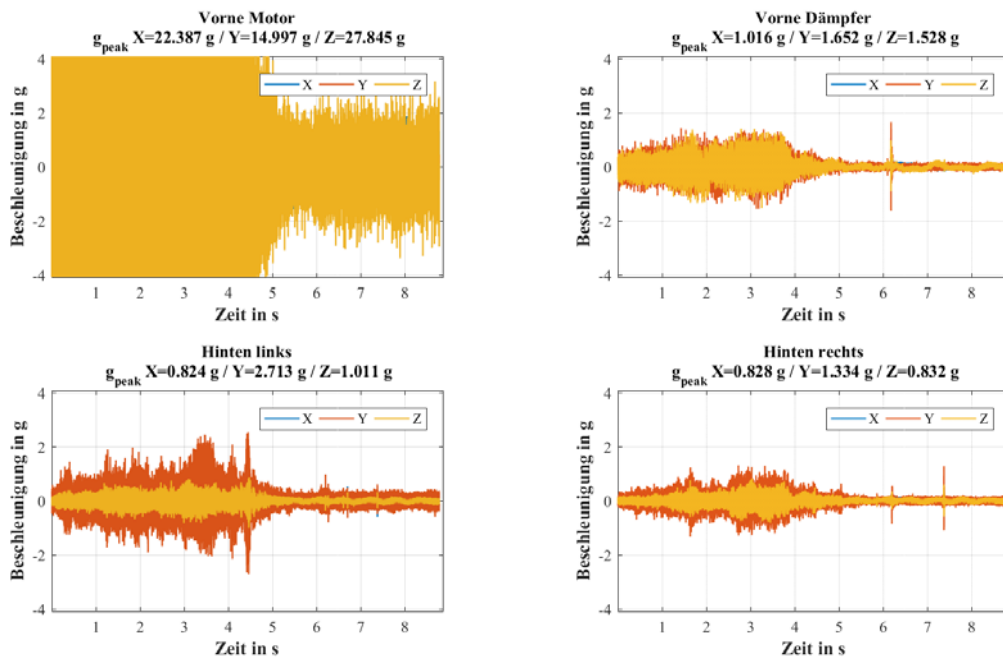


Abbildung 22: Zeitdaten aus Messung "Vollbremsungen_1.txt"

2.6 Aufwärtsfahren Mulde leer (Beispiel einer vollen Fahrt)

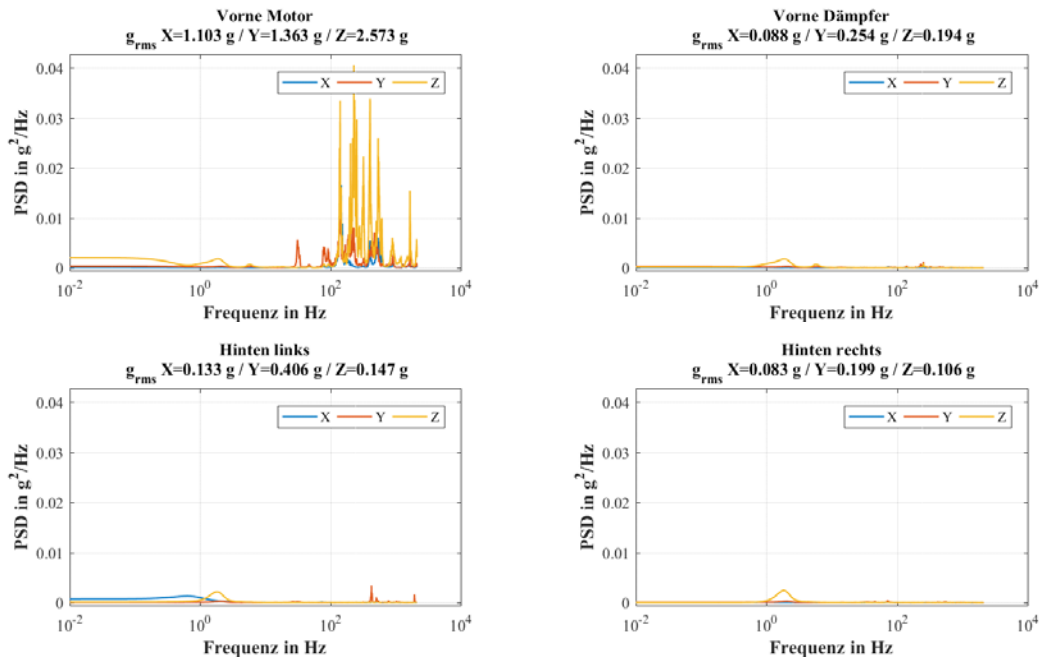


Abbildung 23: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts.txt»

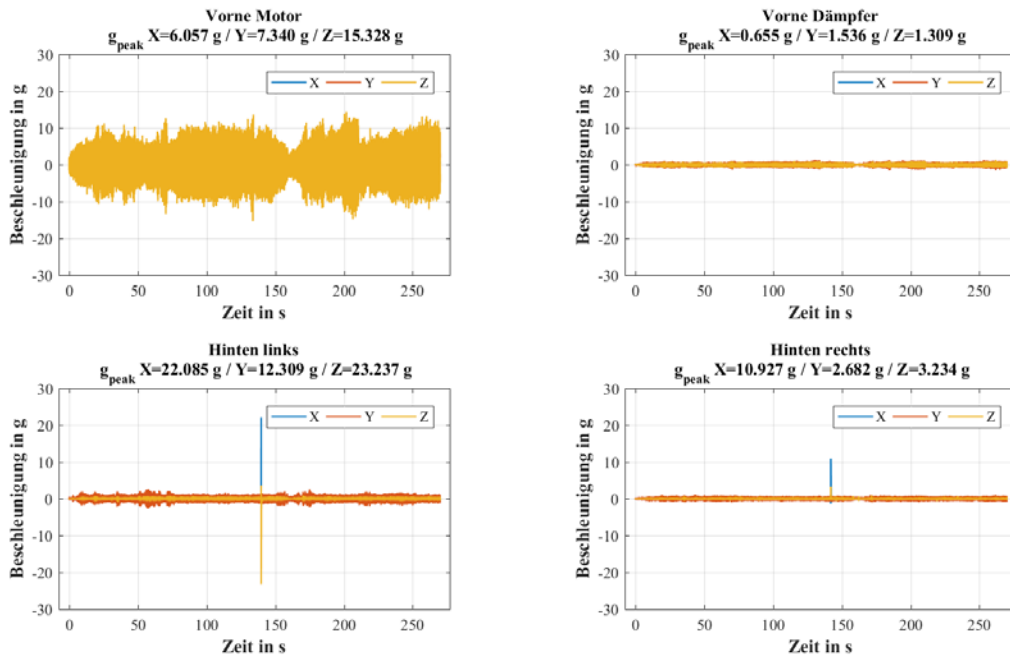


Abbildung 24: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts.txt»

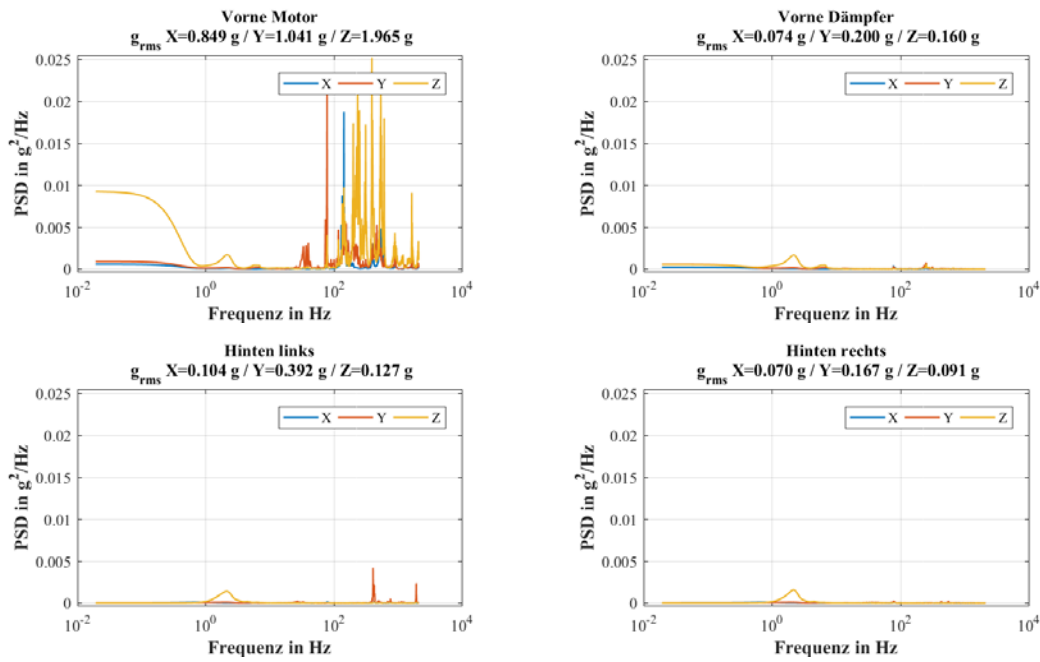


Abbildung 25: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_1.txt»

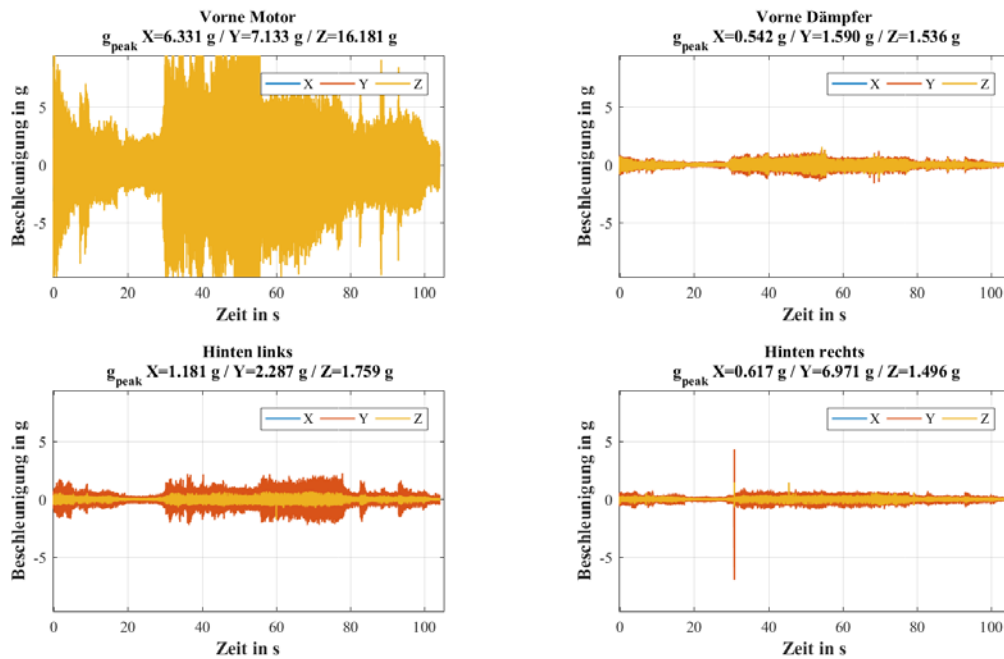


Abbildung 26: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_1.txt»

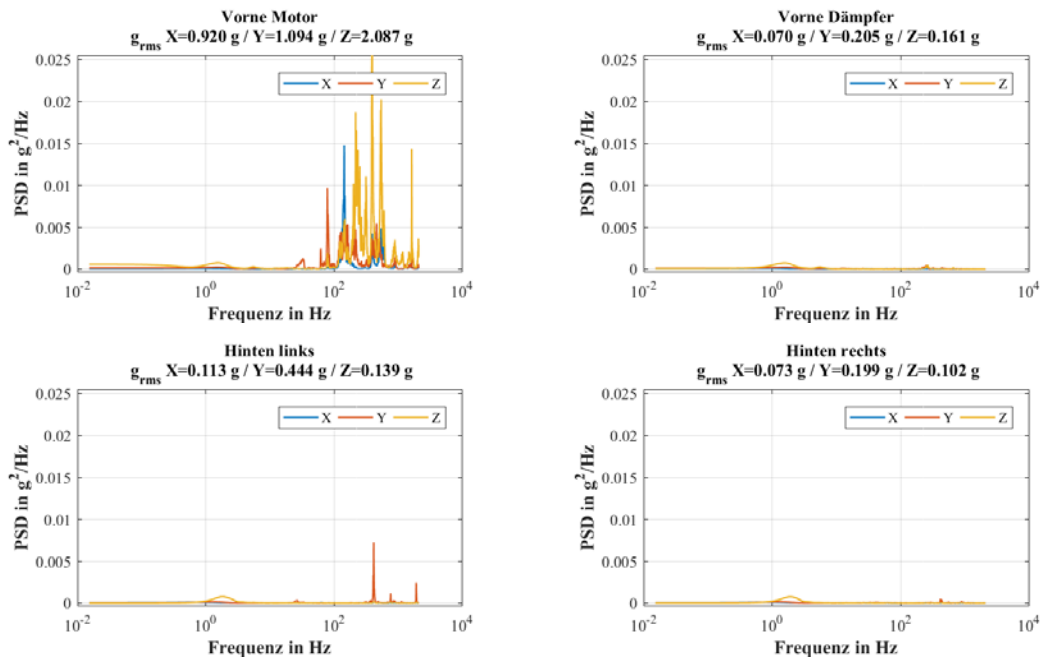


Abbildung 27: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_2.txt»

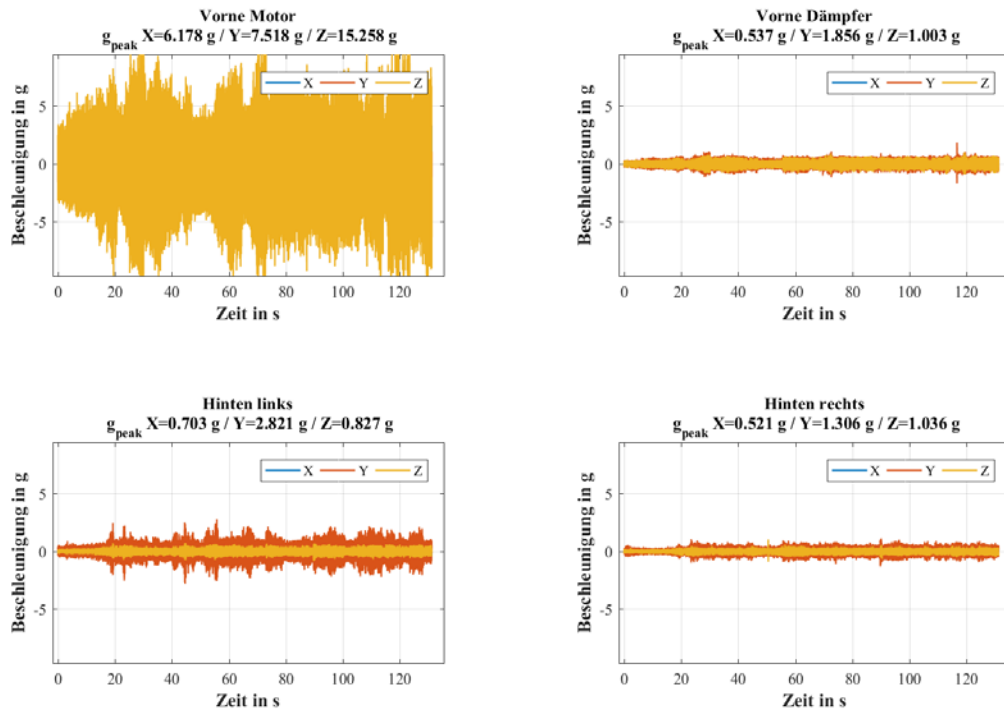


Abbildung 28: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_2.txt»

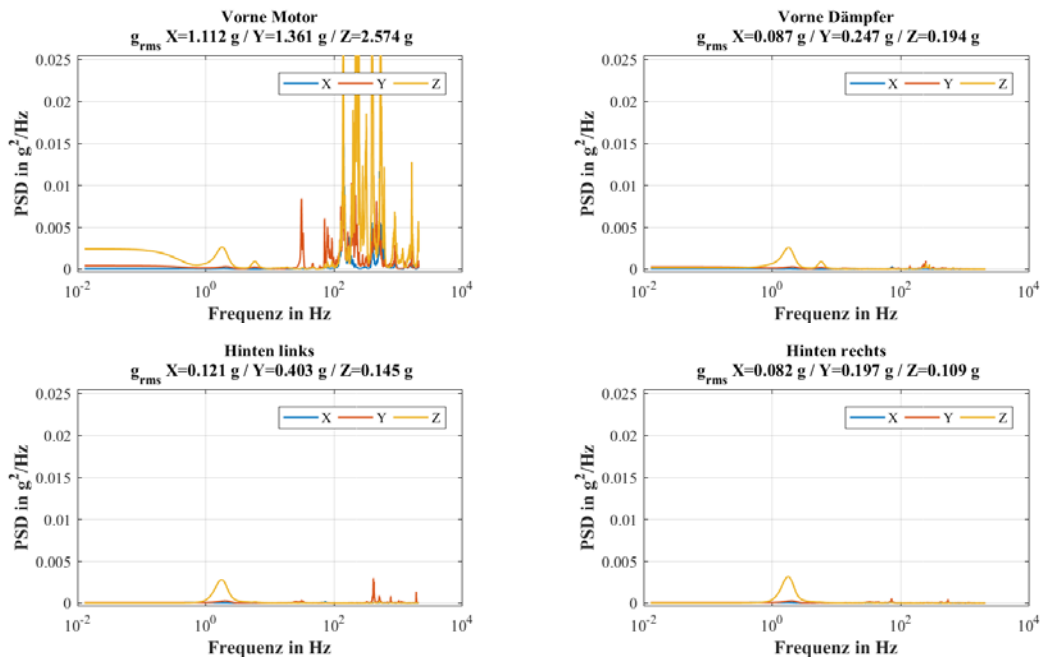


Abbildung 29: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_3.txt»

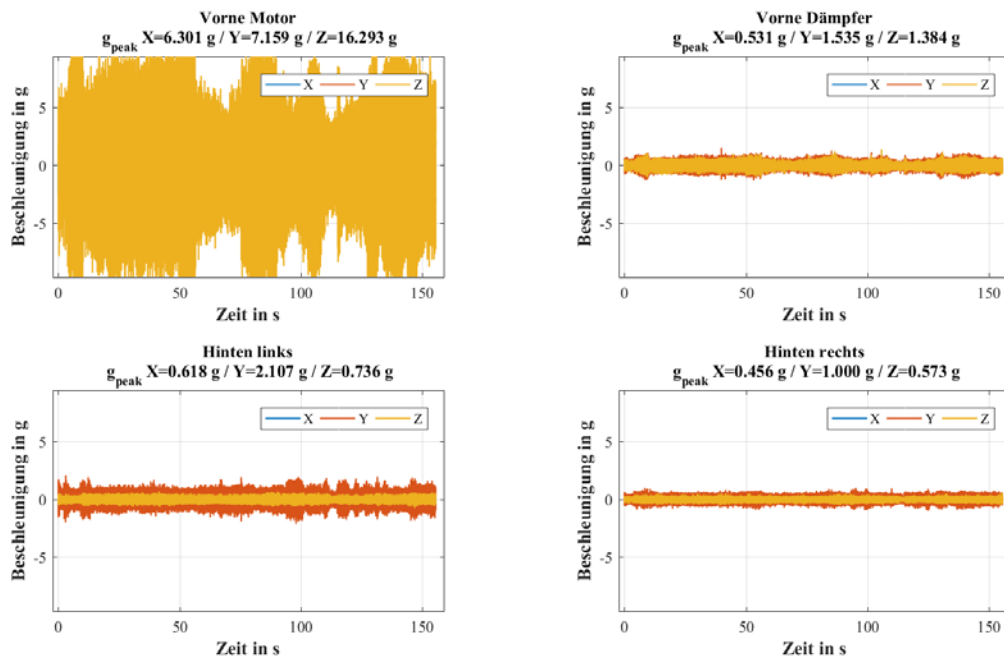


Abbildung 30: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_3.txt»

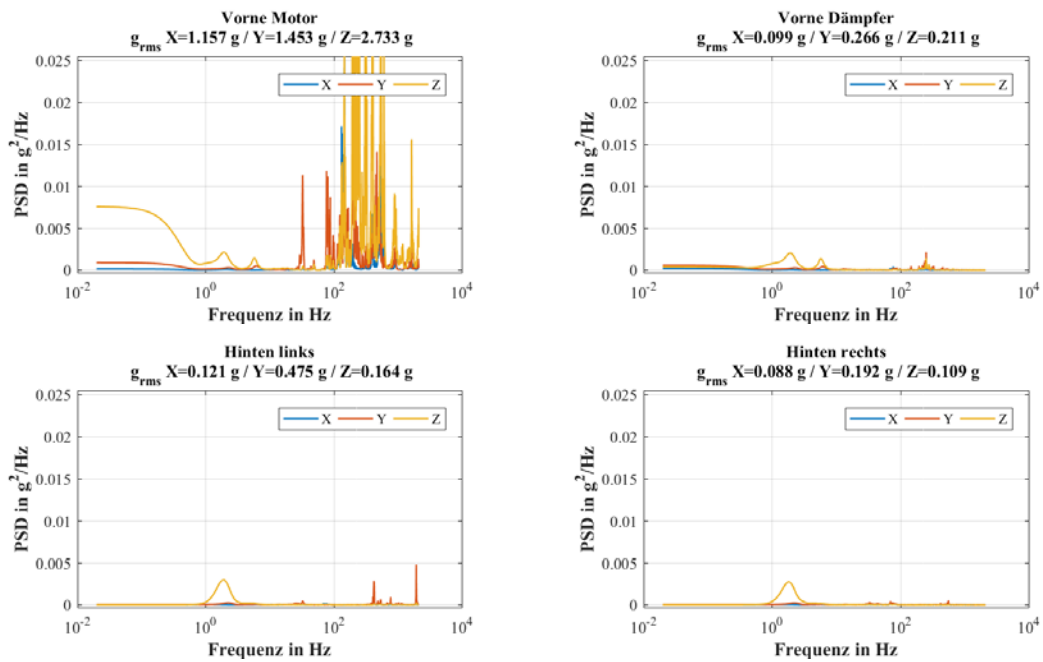


Abbildung 31: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_4.txt»

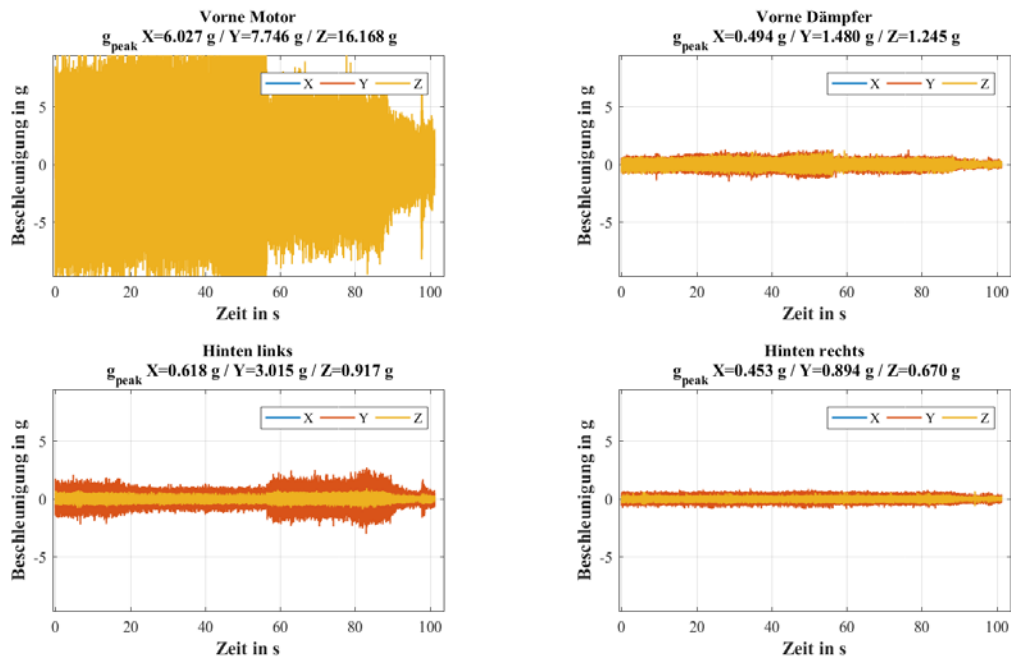


Abbildung 32: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerAufwärts_4.txt»

2.7 Abwärtsfahren Mulde leer (Teilfahrt)

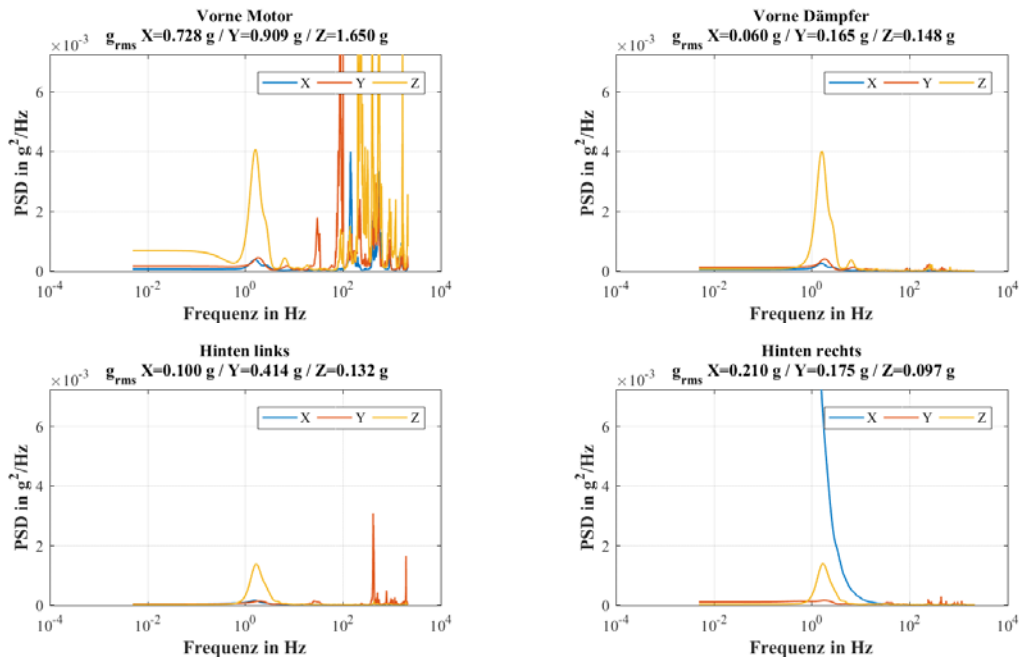


Abbildung 33: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerabwärts.txt»

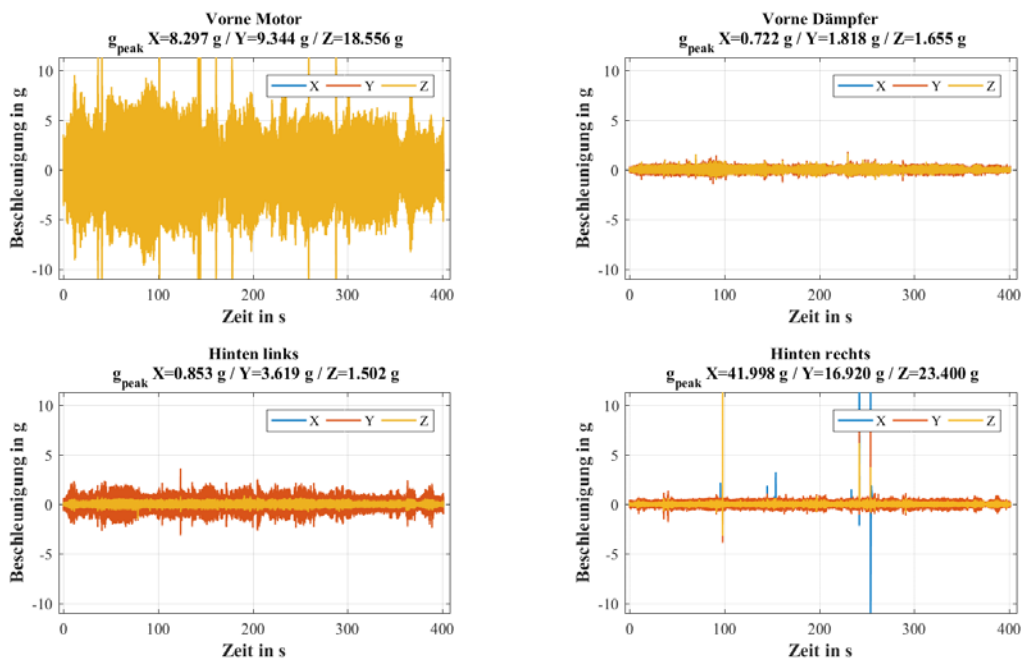


Abbildung 34: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerabwärts.txt»

2.1 Aufwärtsfahren Mulde voll (Teilfahrt)

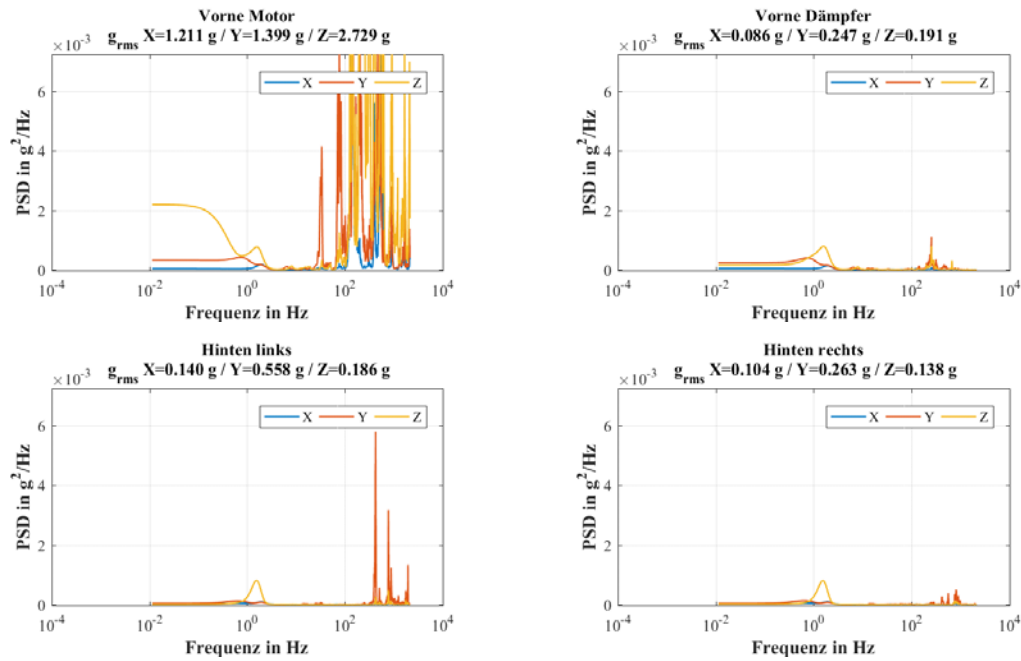


Abbildung 35: PSD Daten aus Messung «normalesFahrenLeerabwärts.txt»

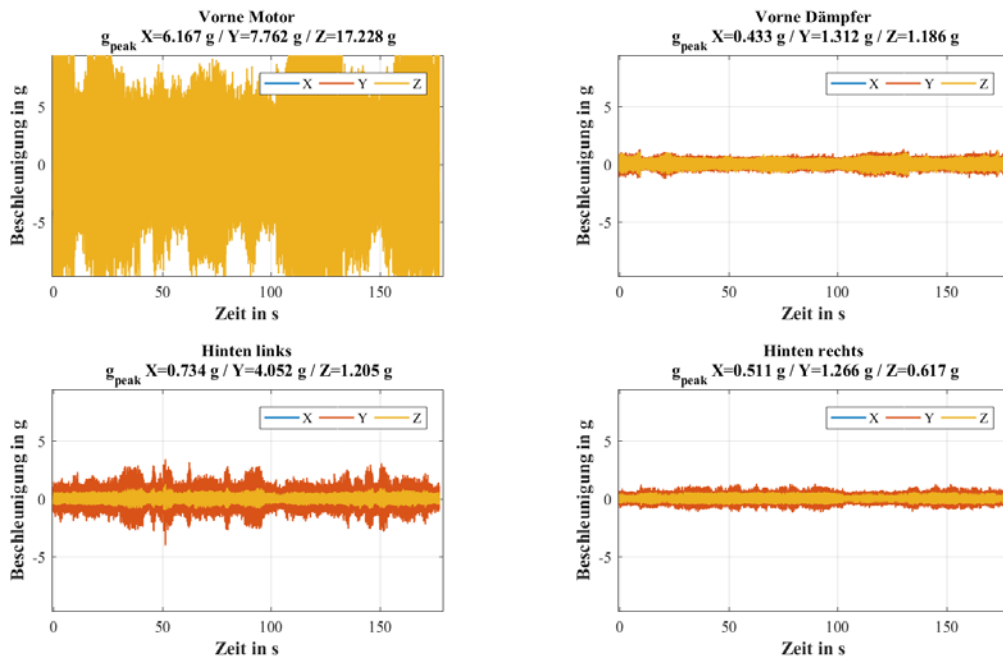


Abbildung 36: Zeitdaten aus Messung «normalesFahrenLeerabwärts.txt»

2.2 Abwärtsfahren Mulde voll (Teilfahrt)

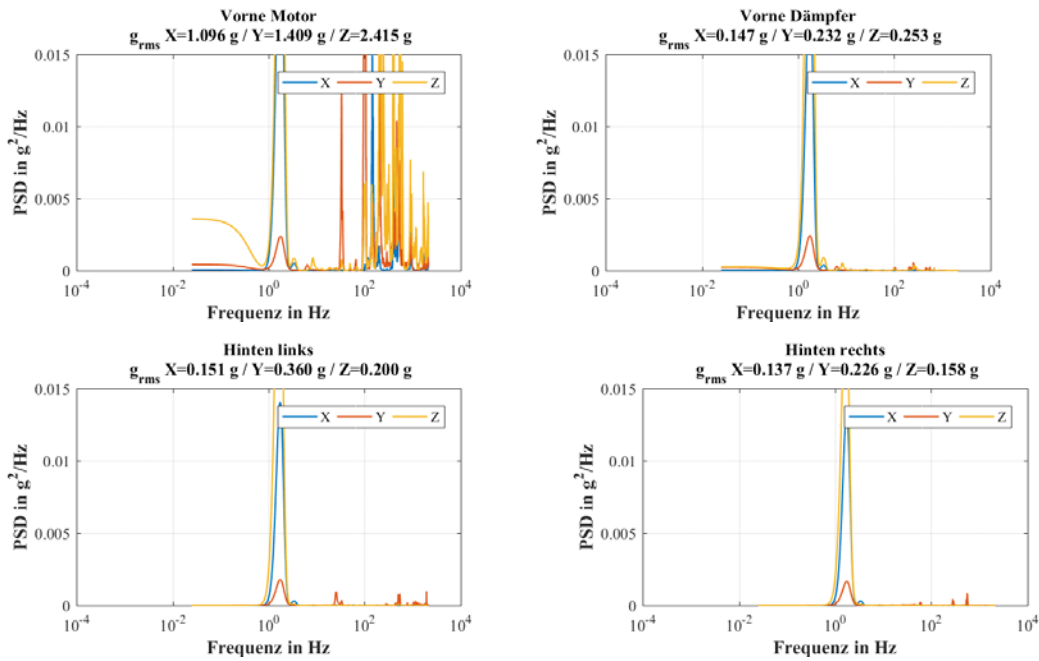


Abbildung 37: PSD Daten aus Messung «FahrenBeladenRunter_1»

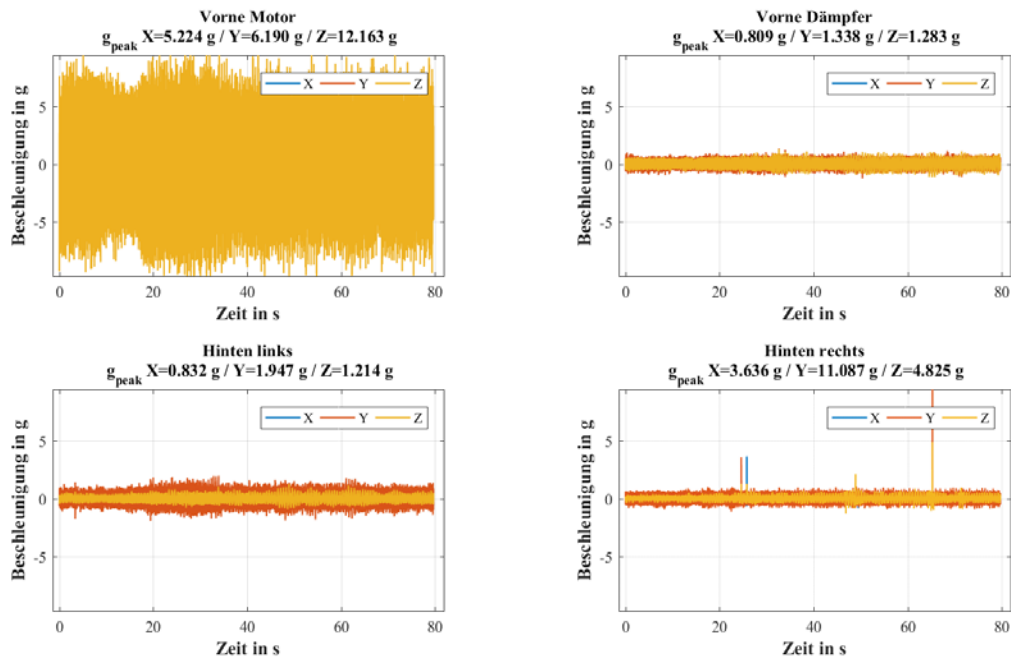


Abbildung 38: Zeitdaten aus Messung «FahrenBeladenRunter_1»

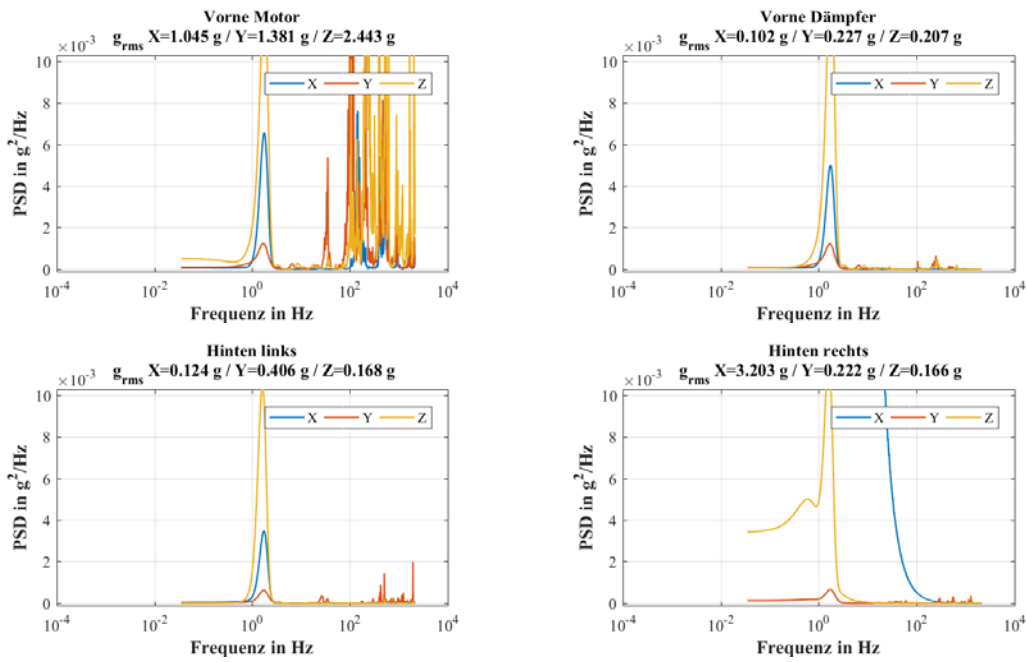


Abbildung 39: PSD Daten aus Messung «FahrenBeladenRunter_2»

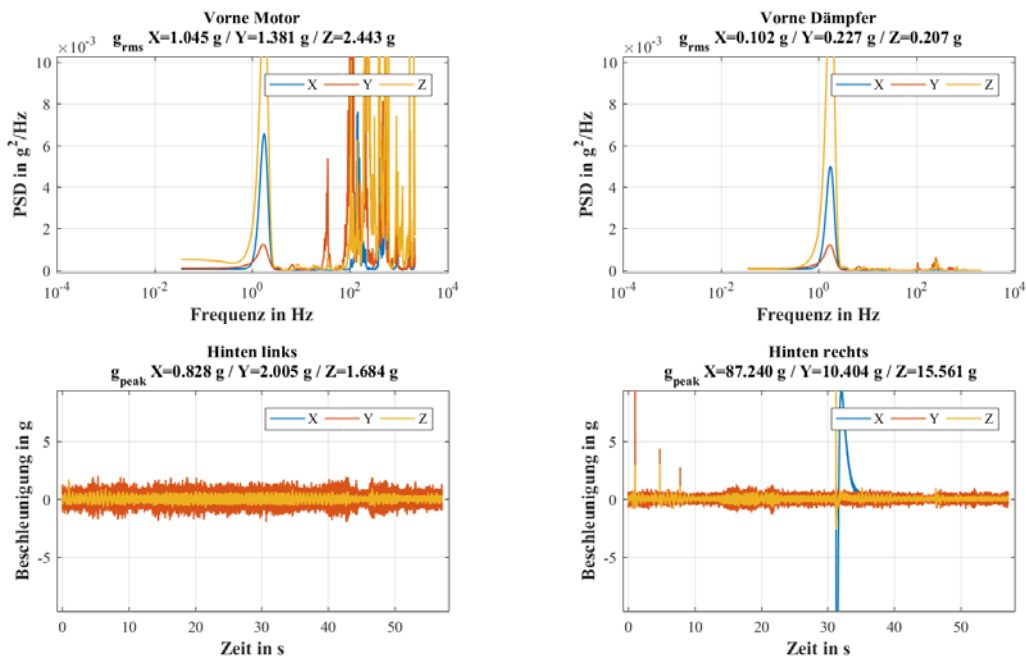


Abbildung 40: Zeitdaten aus Messung «FahrenBeladenRunter_2»

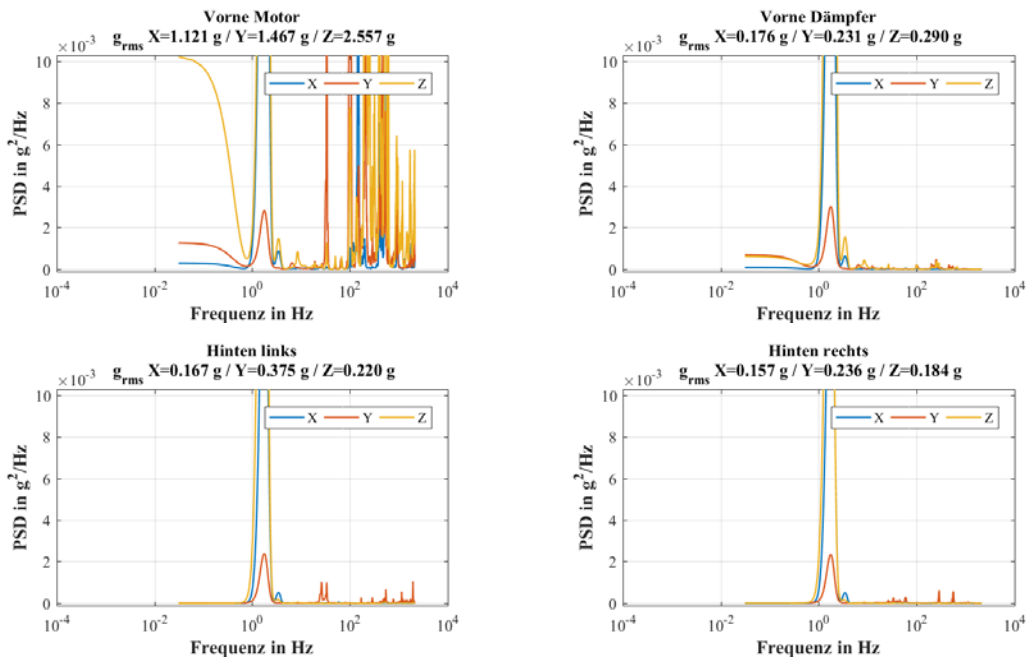


Abbildung 41: PSD Daten aus Messung «FahrenBeladenRunter_8»

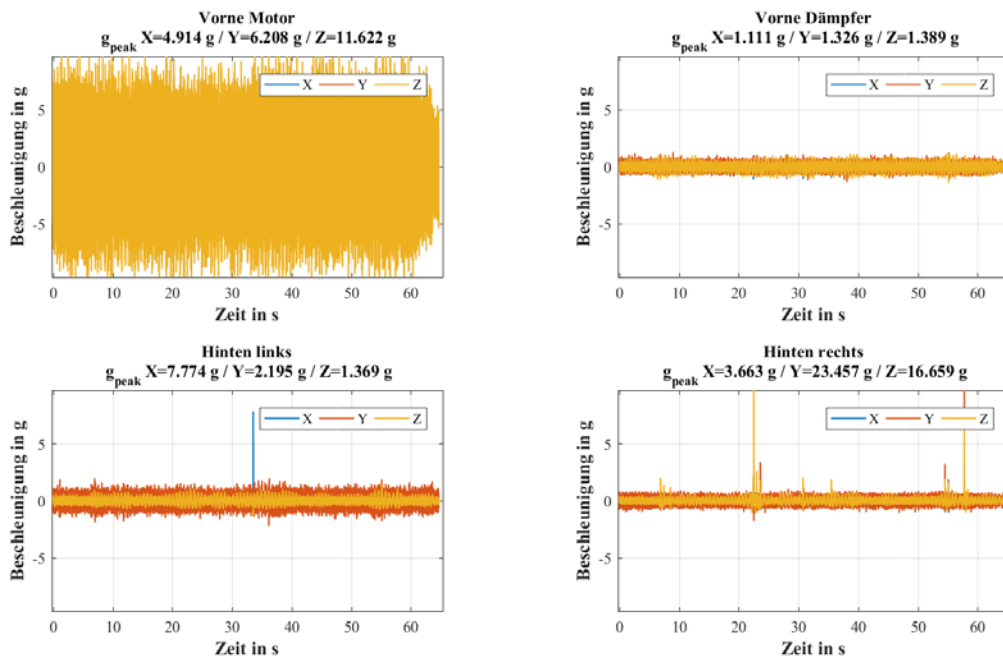


Abbildung 42: Zeitdaten aus Messung «FahrenBeladenRunter_8»