



Spannungsmessung in der E-Mobility

CSM Web-Seminare



CSM **Xplained**
measurement technology

Innovative Mess- und Datentechnik

Spannungsmessung in der E-Mobility



Normen und Richtlinien (z. B. ECE R100, ISO 1010, DGUV 3, ISO 21498)

HV-Batterie

Zellspannungen

HV-Isolationsüberwachung

HV-Abschaltmechanismen

HV-Bordnetz

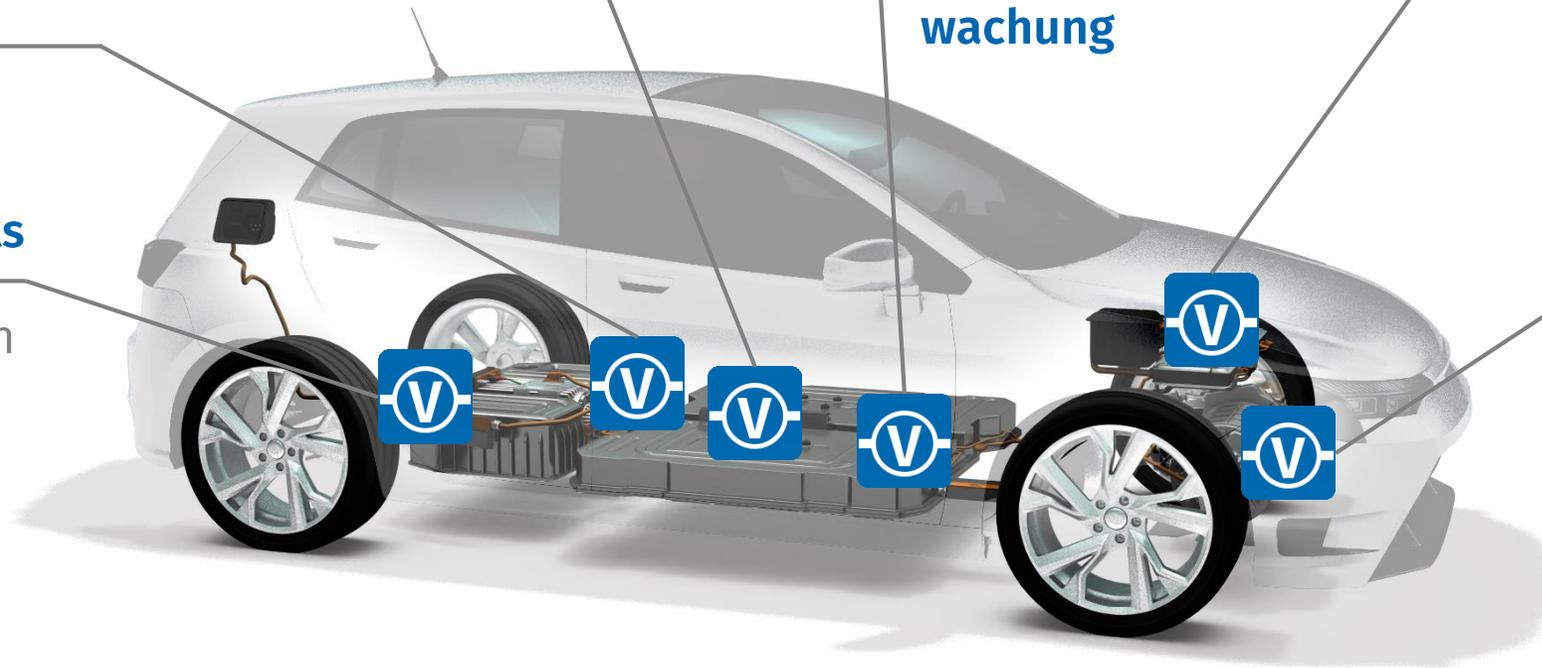
Restwelligkeit

Komponententests

z. B. Ladeverhalten
Gesamtsystem

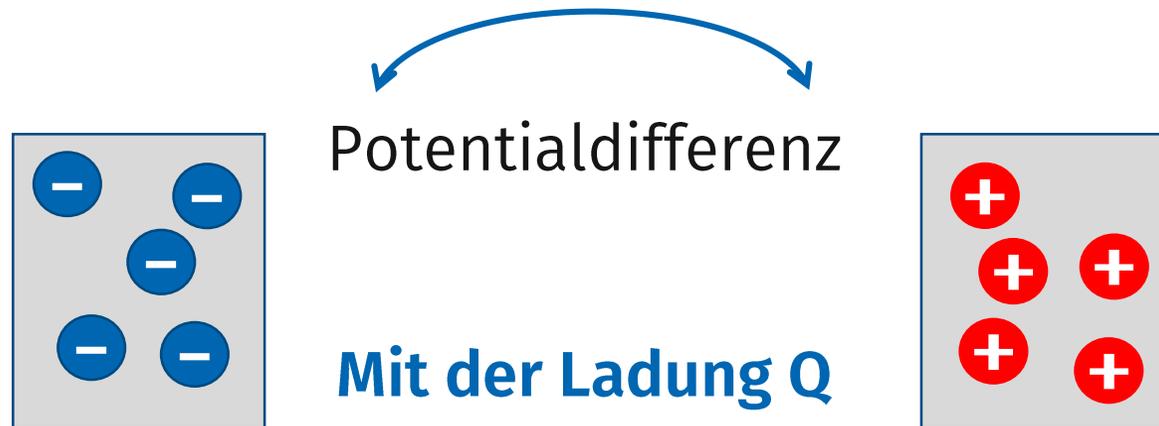
Antriebsstrang

Leistungsnachweis
Verbrauchstests



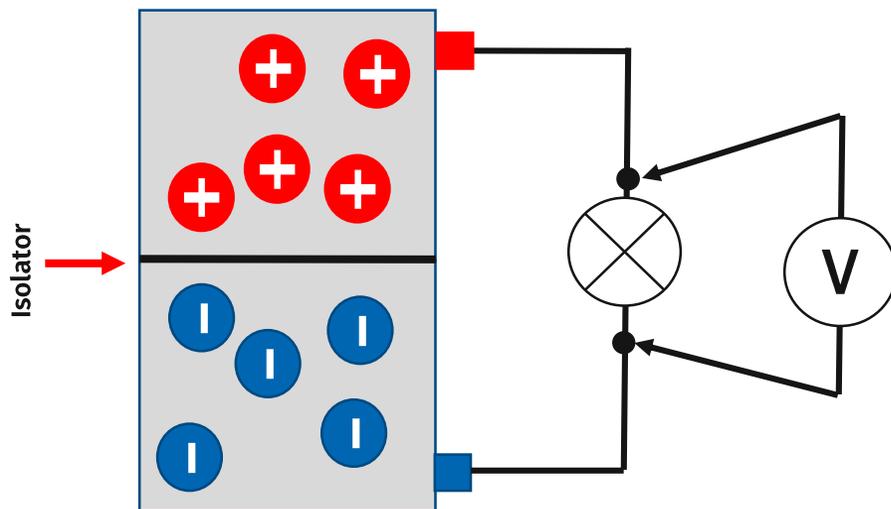
Was ist elektrische Spannung?

- ▶ Wenn positive und negative **Ladungen getrennt** werden, entsteht die **elektrische Spannung U**.
- ▶ Die Spannung ist eine **Potentialdifferenz** zwischen zwei Punkten im elektrischen Feld.
- ▶ Diese Potentialdifferenz wirkt als **Stromquelle**.
- ▶ Durch das Verbinden der beiden Potentiale mittels eines **elektrischen Leiters** können sich die Elektronen bewegen und es entsteht ein Stromfluss.



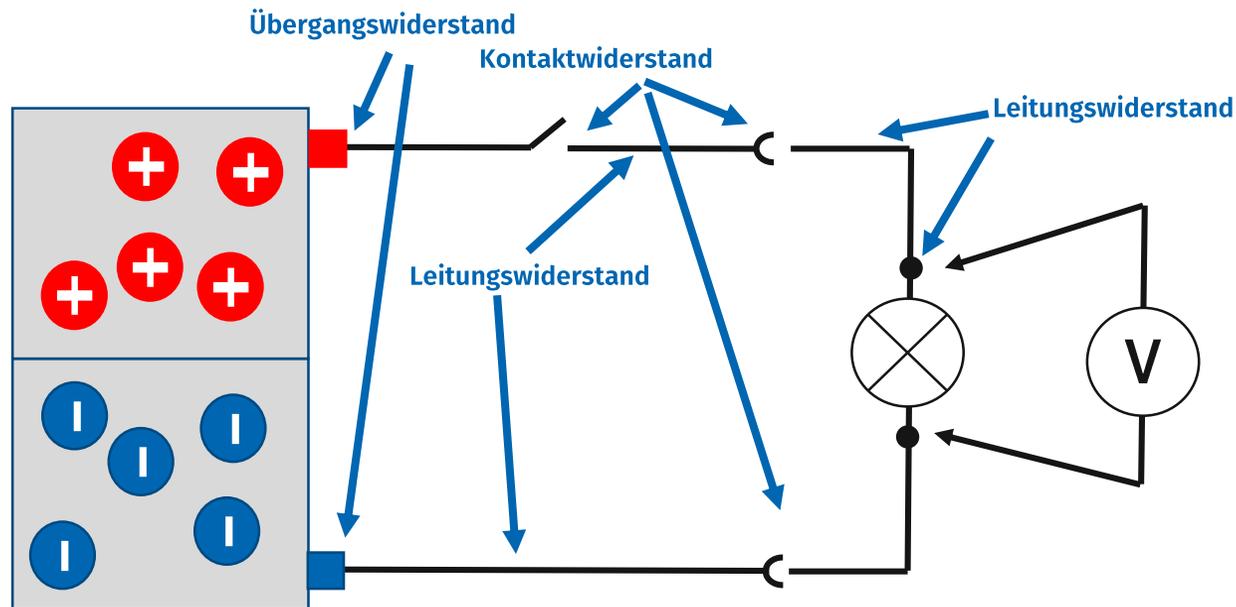
Wie messe ich die elektrische Spannung?

- ▶ Elektrische Spannungen werden immer zwischen zwei Punkten gemessen.
- ▶ Es werden zwei Potentiale miteinander verglichen und die Differenz angezeigt.
- ▶ Im Beispiel wird die Gleichspannung einer Batterie über einer Glühlampe (ohmscher Widerstand) gemessen.



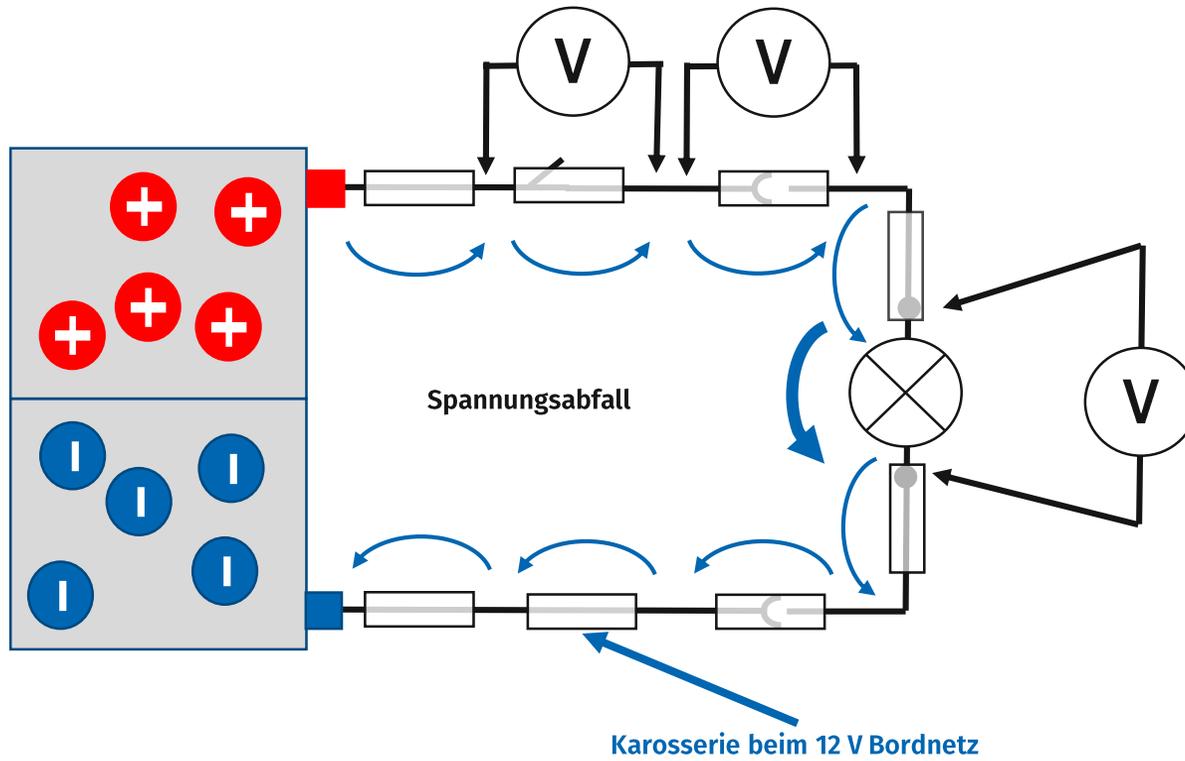
Was muss ich beim Messen beachten?

- ▶ Selbst bei diesem einfachen Beispiel sieht die Realität deutlich komplexer aus.
- ▶ Verbraucher, aber auch Leitungen, Kontakt- und Materialübergangsstellen stellen selbst **elektrische Widerstände** dar, die korrekterweise einzeln betrachtet werden müssen.



Was muss ich beim Messen beachten?

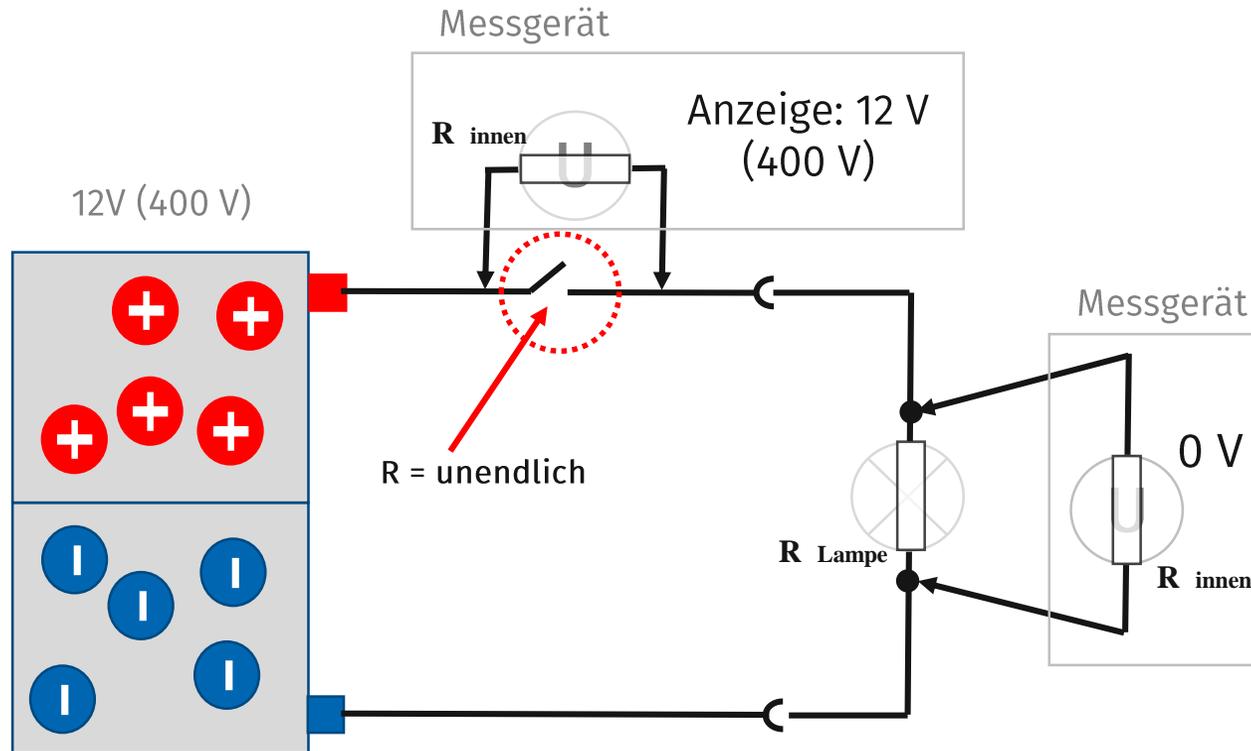
- ▶ An jedem Widerstand fällt Spannung ab („Spannungsabfall“).
- ▶ An hohen Widerständen führt dies i. d. R. zu ungewollten Erwärmungen (thermische Verluste) bis hin zum Fahrzeugbrand.



Schweißbolzen Karosserie
Leider oft überlackiert und damit ein hoher Übergangswiderstand, der Gefahrenpotential birgt.

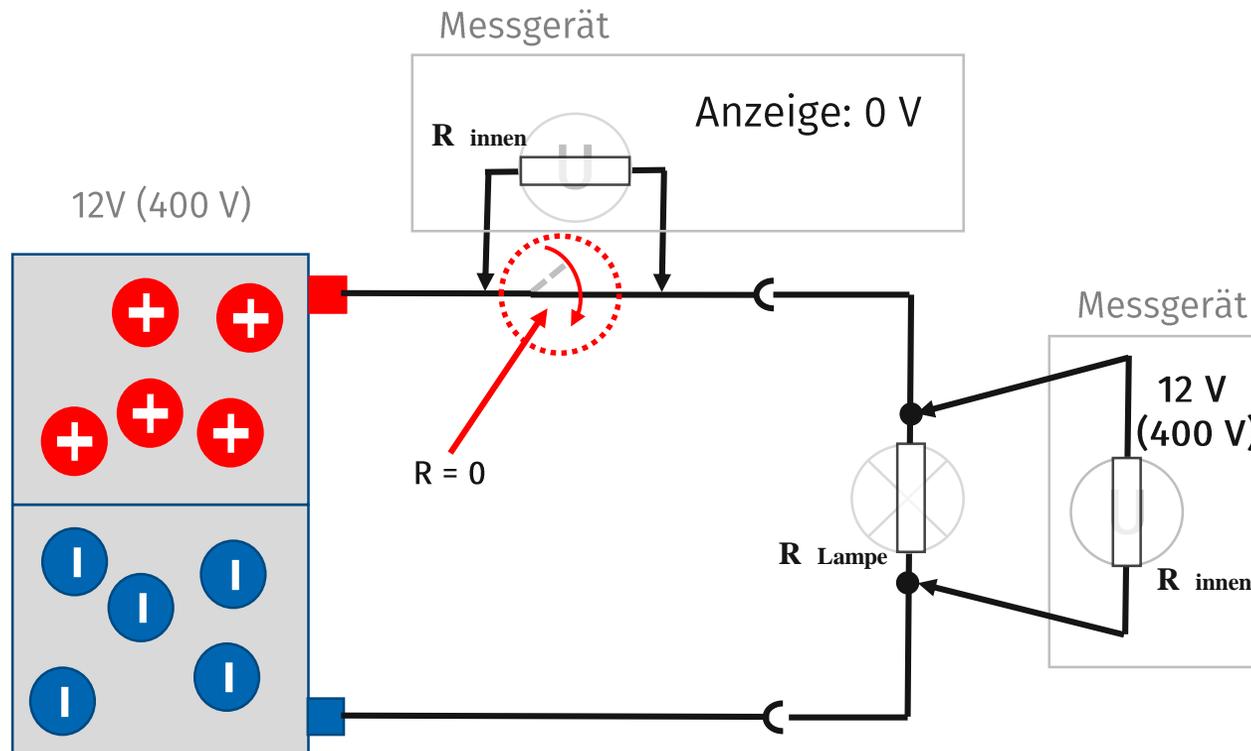
Heißt „Abgeschaltet“ auch „Spannungsfrei“?

Der Schalter im Beispiel ist offen – trotzdem liegt die volle Batteriespannung über dem Schalter an!



Was muss ich beim Messen beachten?

Bei geschlossenem Schalter liegt die volle Batteriespannung am Verbraucher an (idealisiert!).



WICHTIG:

Spannungsmessgeräte sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand haben, um das zu untersuchende System möglichst wenig zu verfälschen.

Welche Spannungsarten gibt es?

12 V, 24 V, 48 V, 400 V, 800 V Bordnetz

- ▶ Gleichspannung
- ▶ Wechselspannung
- ▶ Wechselspannung mit Offset
- ▶ Gleichspannung mit Wechselanteilen
- ▶ Zeitintervalle? – wie schnell messen?

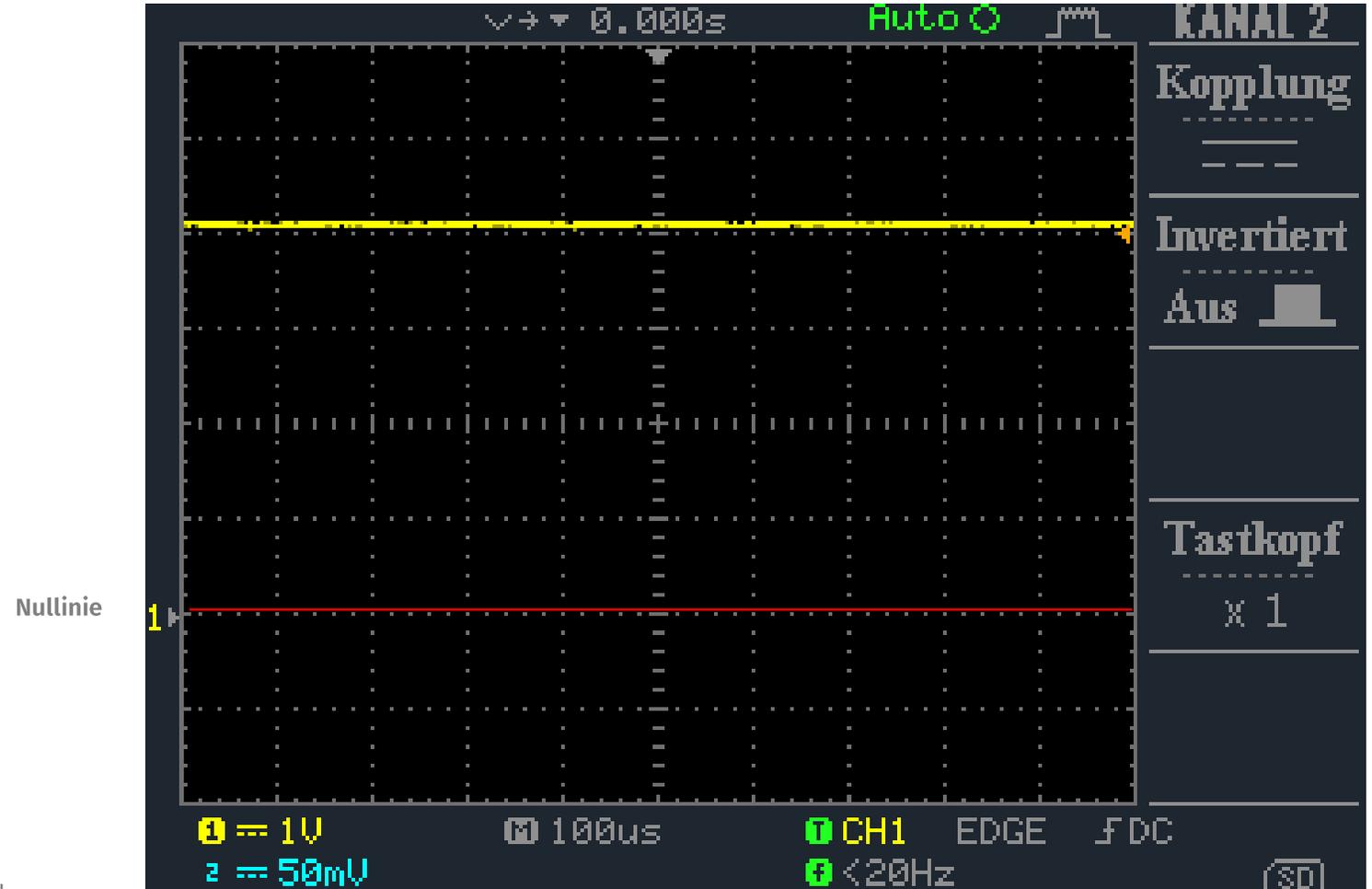


Bild beispielhaft auf 1 V pro Kästchen normiert.

Gerne kann man hier gedanklich mit 100 multiplizieren und schon ist man im 400 V System.

Gleichspannung

Welche Spannungsarten gibt es?

12 V, 24 V, 48 V, 400 V, 800 V Bordnetz

- ▶ Gleichspannung
- ▶ **Wechselspannung**
- ▶ Wechselspannung mit Offset
- ▶ Gleichspannung mit Wechselanteilen
- ▶ Zeitintervalle? – wie schnell messen?

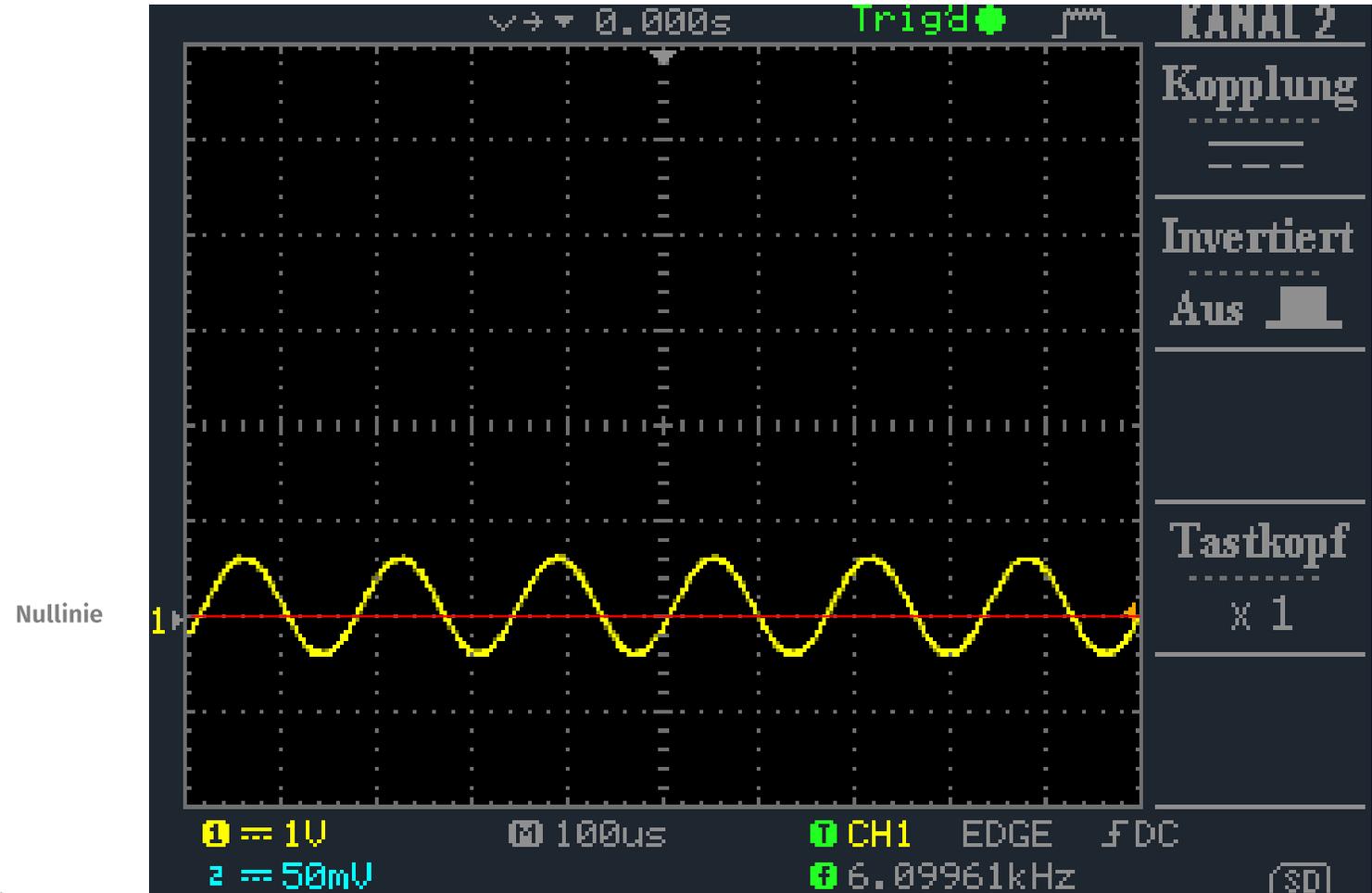


Bild beispielhaft auf 1 V pro Kästchen normiert.

Gerne kann man hier gedanklich mit 100 multiplizieren und schon ist man im 400 V System.

Wechselspannung

Welche Spannungsarten gibt es?

12 V, 24 V, 48 V, 400 V, 800 V Bordnetz

- ▶ Gleichspannung
- ▶ Wechselspannung
- ▶ **Wechselspannung mit Offset**
- ▶ Gleichspannung mit Wechselanteilen
- ▶ Zeitintervalle? – wie schnell messen?

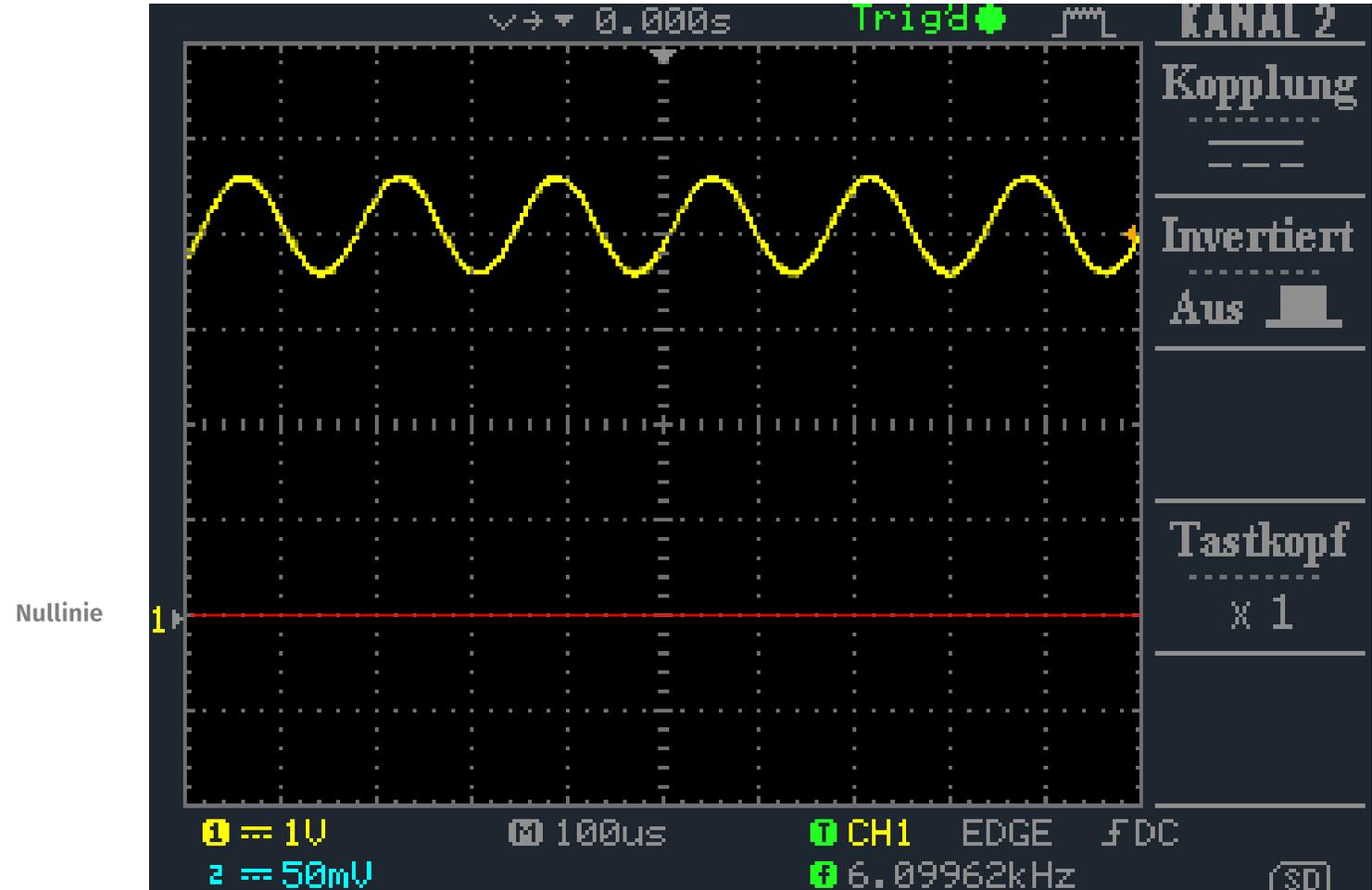


Bild beispielhaft auf 1 V pro Kästchen normiert.

Gerne kann man hier gedanklich mit 100 multiplizieren und schon ist man im 400 V System.

Wechselspannung mit Offset

Welche Spannungsarten gibt es?

12 V, 24 V, 48 V, 400 V, 800 V Bordnetz

- ▶ Gleichspannung
- ▶ Wechselspannung
- ▶ Wechselspannung mit Offset
- ▶ **Gleichspannung mit Wechselanteilen**
- ▶ Zeitintervalle? – wie schnell messen?

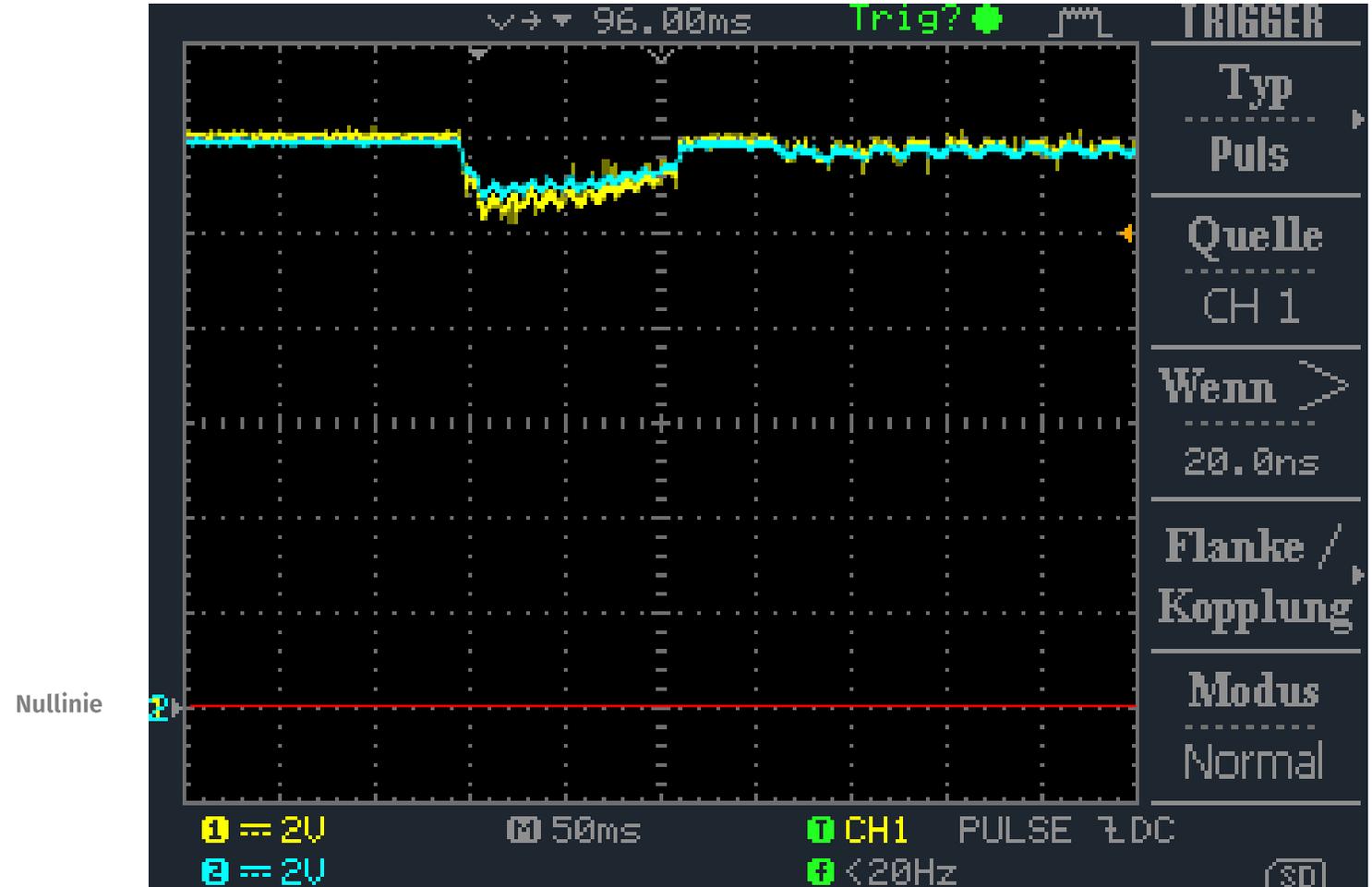


Bild beispielhaft auf 1 V pro Kästchen normiert.

Gerne kann man hier gedanklich mit 100 multiplizieren und schon ist man im 400 V System.

Gleichspannung mit Wechselanteilen

Welche Spannungsarten gibt es?

Beispiel 12 Volt Bordnetz (Verbrenner):

- ▶ Bei stehendem Motor = nahezu Gleichspannung 12 V
- ▶ Nach gestartetem Verbrennungsmotor bringen Lichtmaschine und Verbraucher wie das Zündsystem Rückwirkungen in das Bordnetz, sodass die Gleichspannung durch Oberwellen verfälscht wird.

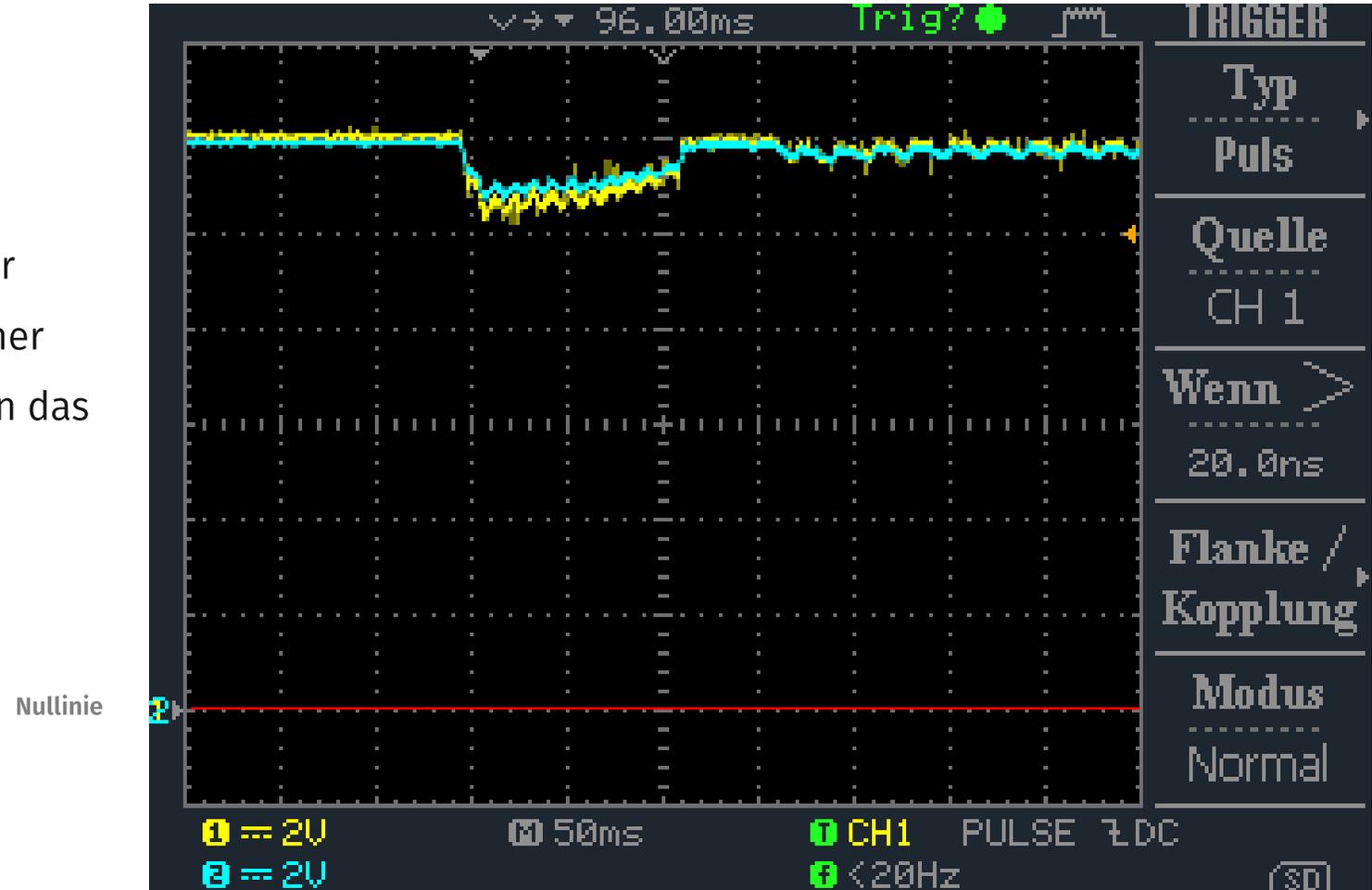


Bild beispielhaft auf 1 V pro Kästchen normiert.

Gerne kann man hier gedanklich mit 100 multiplizieren und schon ist man im 400 V System.

Gleichspannung mit Wechselanteilen

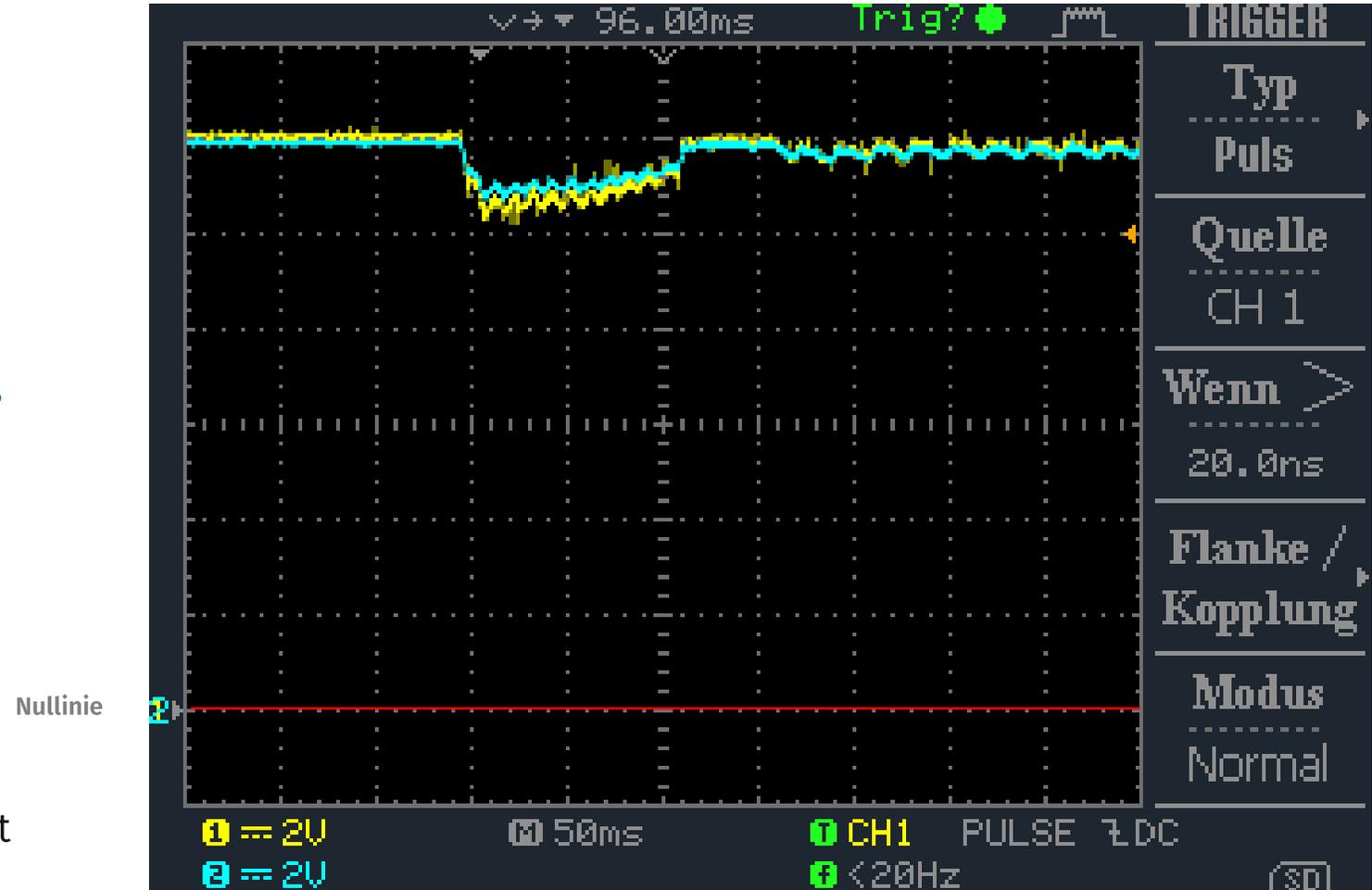
Welche Spannungsarten gibt es?

12 V, 24 V, 48 V, 400 V, 800 V Bordnetz

- ▶ Gleichspannung
- ▶ Wechselspannung
- ▶ Wechselspannung mit Offset
- ▶ Gleichspannung mit Wechselanteilen
- ▶ **Zeitintervalle? – wie schnell messen?**

Trotz Batterie-Gleichspannung ist das Fahrzeugbordnetz immer mit Frequenzgemischen beaufschlagt.

Um diese Wechselanteile zu erfassen, muss (abhängig von Anwendungsfall) mit hohen Datenraten gemessen werden.



Gleichspannung mit Wechselanteilen

Was gilt es beim Einsatz von Messtechnik für die Spannungsmessung zu beachten?

Verschiedene Spannungsmessgeräte für unterschiedliche Anforderungen

- ▶ Gleichspannung / Wechselspannung / Gleichspannung mit Wechselanteilen
- ▶ Kleinstspannung (μV), Kleinspannung (<60 V), Hochvolt (60 V bis 1.000 V)

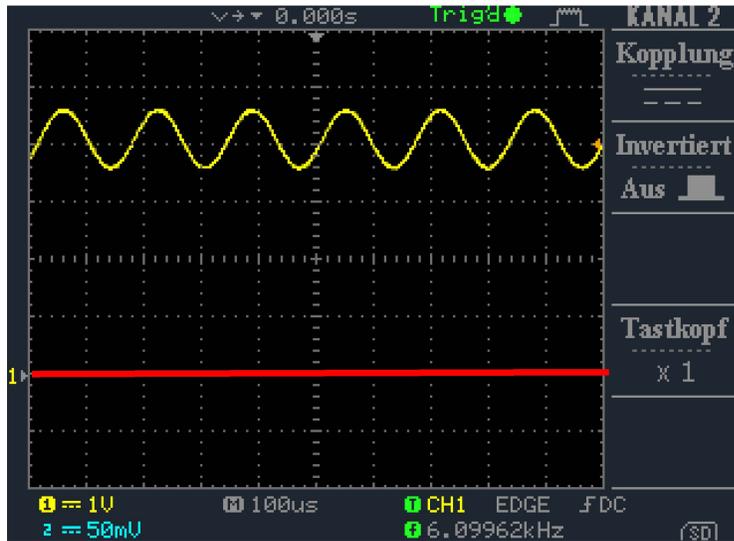
Welches Messgerät verwende ich?

- | | |
|--|---|
| ▶ Wie schnell muss ich messen? | Datenrate: 1 Hz bis 1 MHz |
| ▶ Wie hoch ist meine erwartete Spannung? | Messbereich: ± 3 mV bis ± 2.000 V |
| ▶ Niedervolt / Hochvolt | Grenzen: 60 V DC / 30 V AC |
| ▶ Wer darf installieren und messen? | Gesetze beachten! |

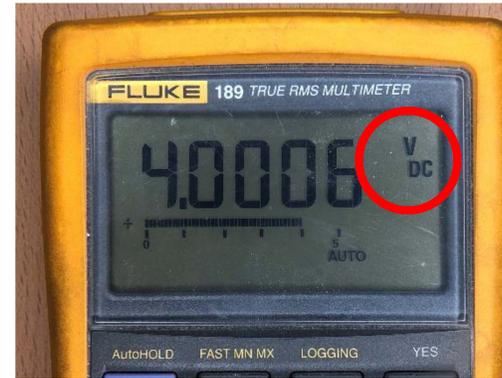


Bei Spannungen über 60 V DC und 30 V AC: **HV Richtlinien beachten!**

Vergleich: Was zeigt ein Multimeter an?



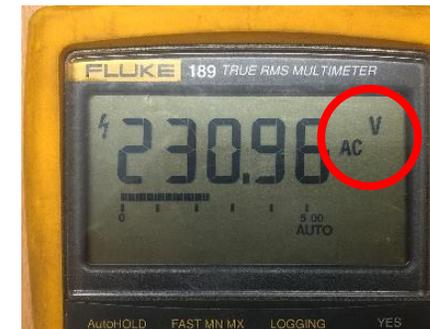
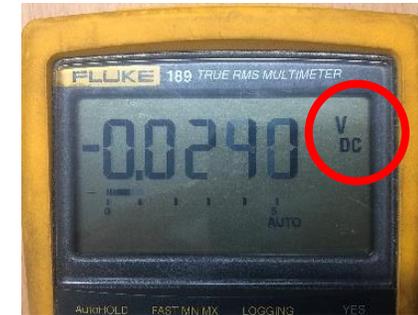
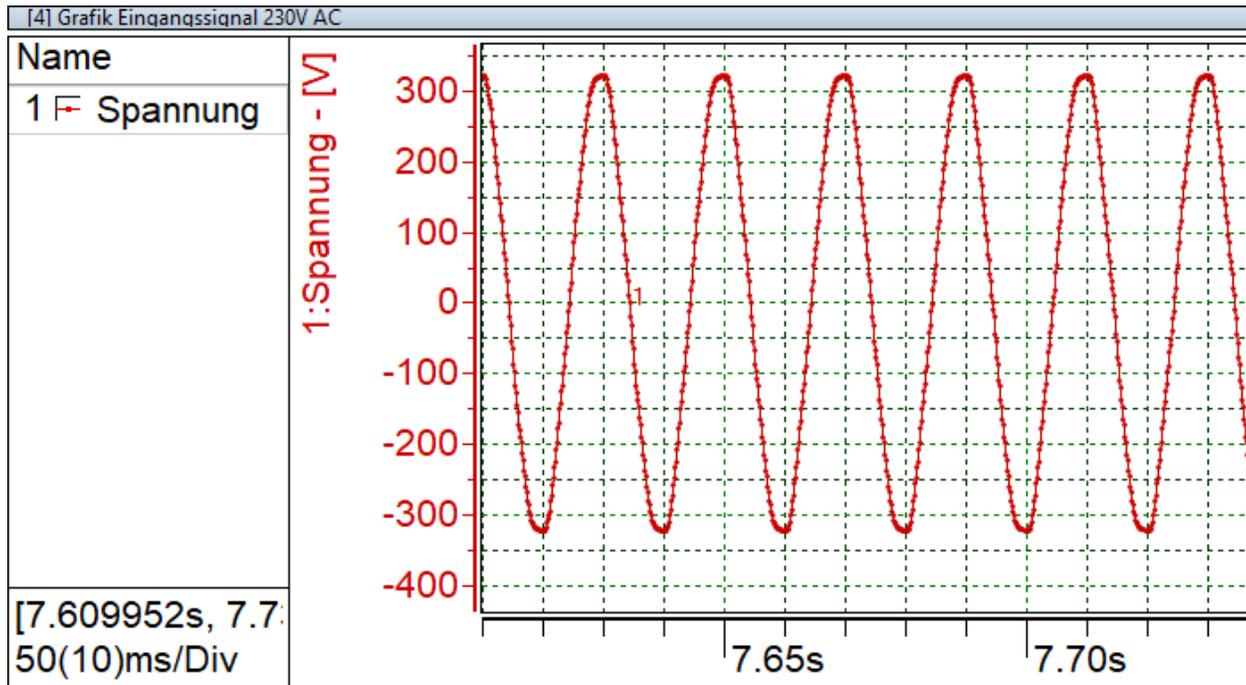
Gemessenes Signal:
6 kHz Sinus mit $\pm 0,5$ V Amplitude, 4 V Offset



Multimeter zeigt den
Effektivwert des AC-Anteils
des Signals an

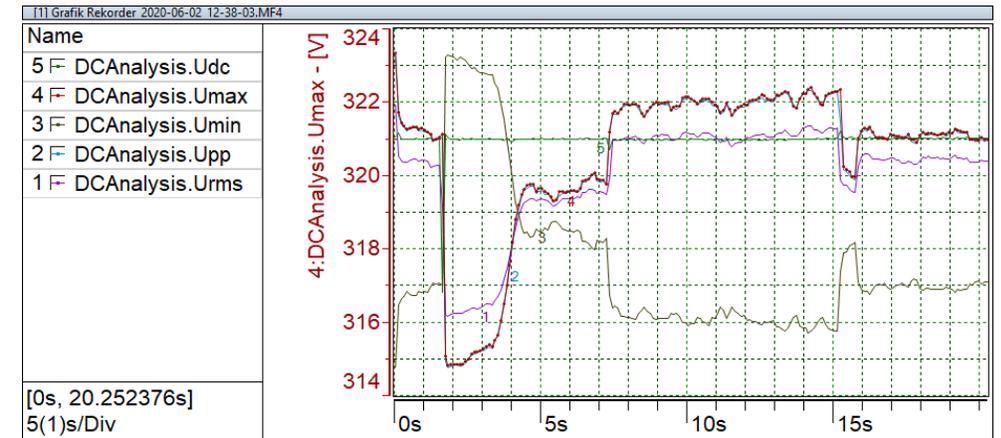
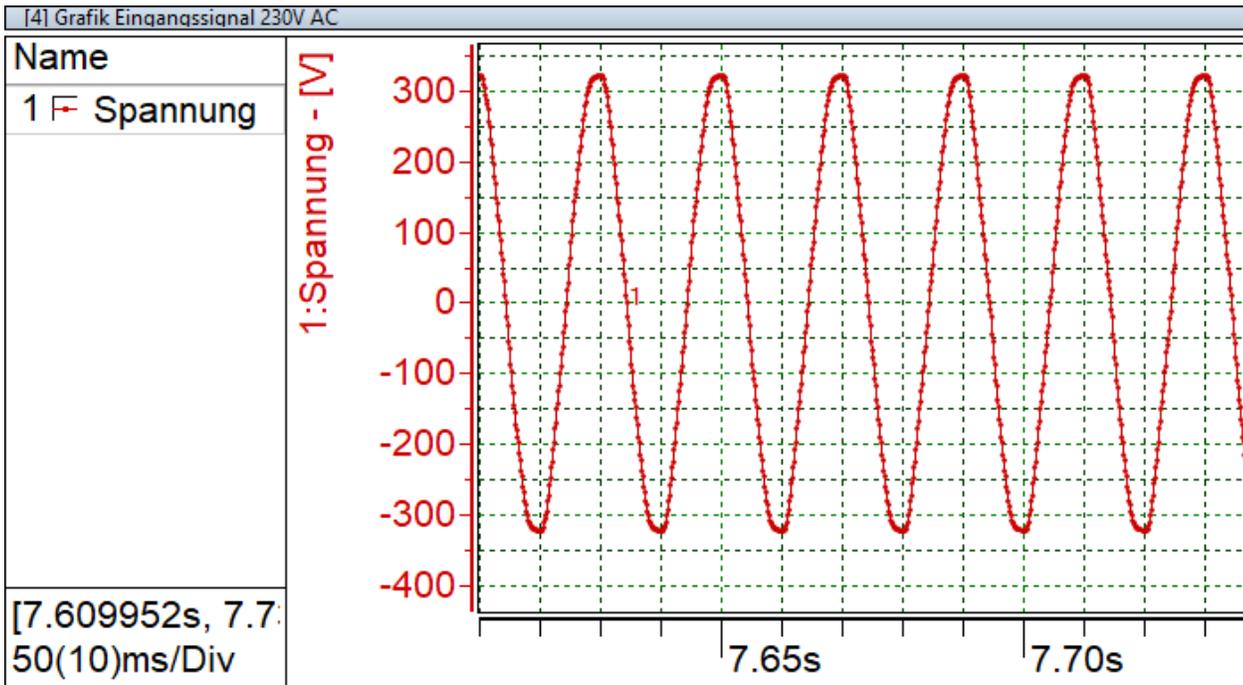
Vergleich: Multimeter vs. Rohdatenerfassung

Am Beispiel einer üblichen Steckdose (50 Hz, 230 V)



Vergleich: Multimeter vs. Rohdatenerfassung

Am Beispiel einer üblichen Steckdose (50 Hz, 230 V)

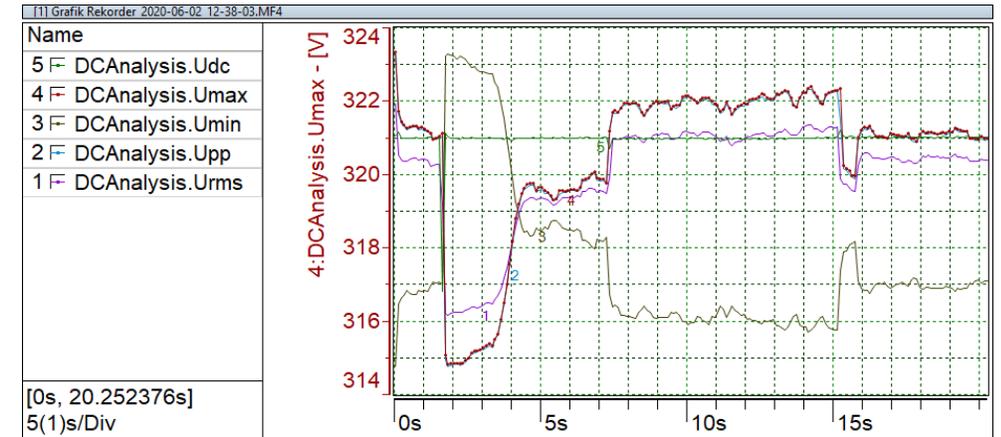
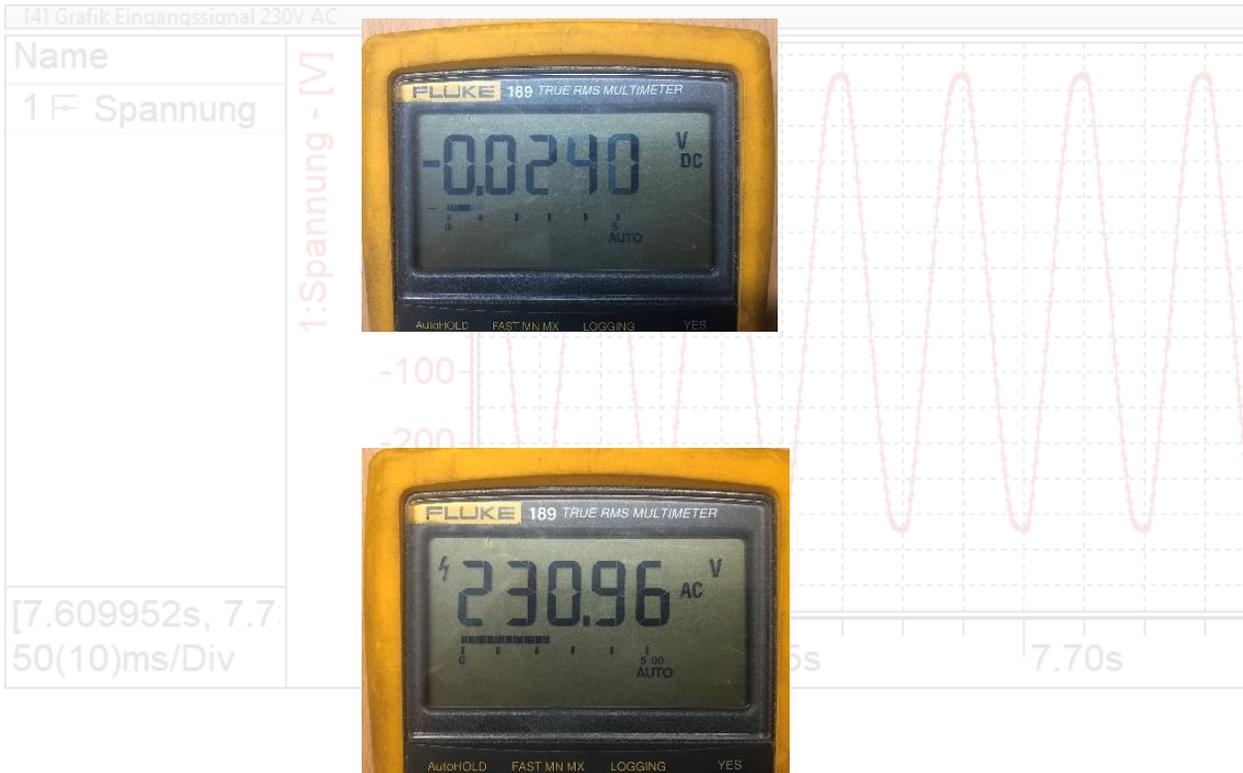


[3] DC Analyse der 230V AC

DCAnalysis.Udc	0.01 V
DCAnalysis.Umax	321.00 V
DCAnalysis.Umin	-320.91 V
DCAnalysis.Upp	641.91 V
DCAnalysis.Urms	233.39 V

Vergleich: Multimeter vs. Rohdatenerfassung

Am Beispiel einer üblichen Steckdose (50 Hz, 230 V)



[3] DC Analyse der 230V AC

DCAnalysis.Udc	0.01 V
DCAnalysis.Umax	321.00 V
DCAnalysis.Umin	-320.91 V
DCAnalysis.Upp	641.91 V
DCAnalysis.Urms	233.39 V



Geeignete Messgeräte für Spannung bis 90 V

Beispiel: CSM CAN und ECAT AD Messmodule



- ▶ Messbereiche: von ± 10 mV bis ± 90 V
- ▶ Abtastraten: bis 1.000 kHz
- ▶ Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis $+125$ °C,
- ▶ IP67



CAN Messmodul
AD4 MX2



ECAT (EtherCAT®) Messmodul
AD4 OG1000

*Beispielhafte Messmodule

Geeignete Messgeräte für Spannung bis 1.000 V

Beispiel: CSM HV CAN und HV ECAT AD Messmodule



- ▶ Messbereiche: von ± 1 V bis ± 1.000 V
(± 2.000 V Peak)
- ▶ Abtastraten: bis 1.000 kHz
- ▶ Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis $+100$ °C,
- ▶ IP67



HV ECAT Messmodul
HV AD4 XW1000



HV CAN Messmodul
HV AD4 XW20



- ▶ HV-sicherer Steckverbinder
- ▶ Mechanische Steckerführung für Dichtigkeit und Knickschutz
- ▶ Verstärkte Isolierung
- ▶ Typgeprüft gemäß Sicherheitsnorm EN61010 durch akkreditiertes Prüflabor
- ▶ Stückprüfung mit Zertifikat
 - 3.100 V Rampe jeweils 5 sec

*Beispielhafte Messmodule



Geeignete Messgeräte für Spannung bis 1.000 V

Beispiel: CSM HV Breakout-Module (BM)



- ▶ Messbereich: ± 50 V bis ± 1.000 V (± 2.000 V Peak)
- ▶ Abtastraten: bis 1.000 kHz
- ▶ Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis $+120$ °C



HV BM 1.2

HV BM 1.1



- ▶ Verstärkte Isolierung
- ▶ Typgeprüft gemäß Sicherheitsnorm EN61010 durch akkreditiertes Prüflabor
- ▶ Stückprüfung mit Zertifikat
 - 3.100 V Rampe jeweils 5 sec



*Beispielhafte Messmodule

Geeignete Messgeräte für Spannung bis 1.000 V

Beispiel: CSM HV Breakout-Module (BM)



- ▶ Direkter Einbau in (HV)-Leitungen des Bordnetzes
- ▶ Simultane und voll-synchronisierte Erfassung von U und I mit hohen Datenraten (bis 1 MHz pro Kanal)
- ▶ Erfassung von Rohdaten und Echtzeit-Berechnung der Momentanleistung ($P = U \times I$)
- ▶ Busanbindung über EtherCAT® und CAN-Bus
- ▶ Weitere Online-Signalverarbeitung per Vector eMobility Analyzer (CANape und vMeasure Expert)



Anwendungen



Normen und Richtlinien (z. B. ECE R100, ISO 1010, DGUV 3, ISO 21498)

HV-Bordnetz

Restwelligkeit

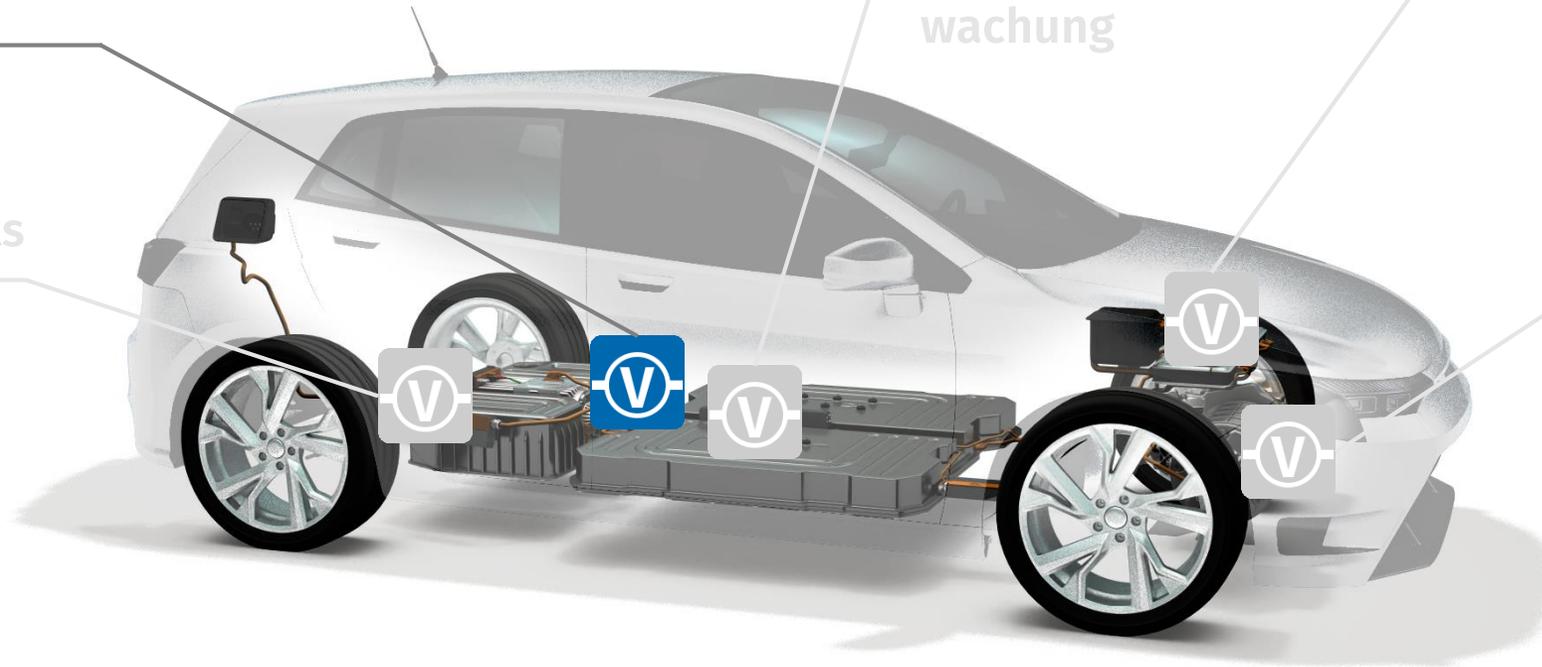
Komponententests

HV-Isolationsüberwachung

HV-Abschaltmechanismen

Antriebsstrang

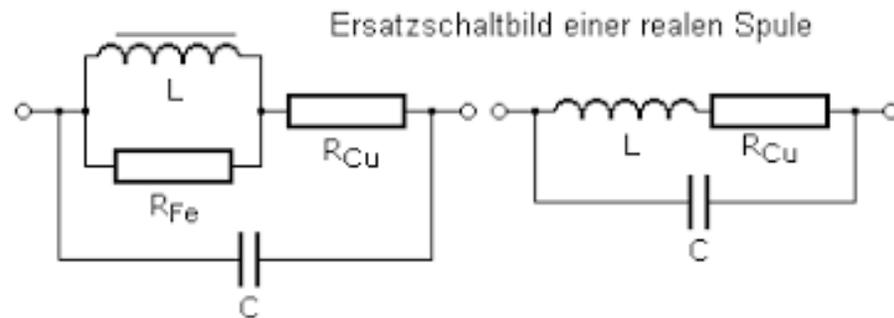
Leistungsnachweis
Verbrauchstests



Überprüfen der Bordnetzqualität (neue Charakteristika)

Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten eines HV Systems

- ▶ Klima / Inverter DC-AC / DC-DC Wandler / Heizung (PWM)
- ▶ Welche typischen Charakteristika und Wechselwirkungen zeichnen HV-Spannungen im Fahrzeug aus?

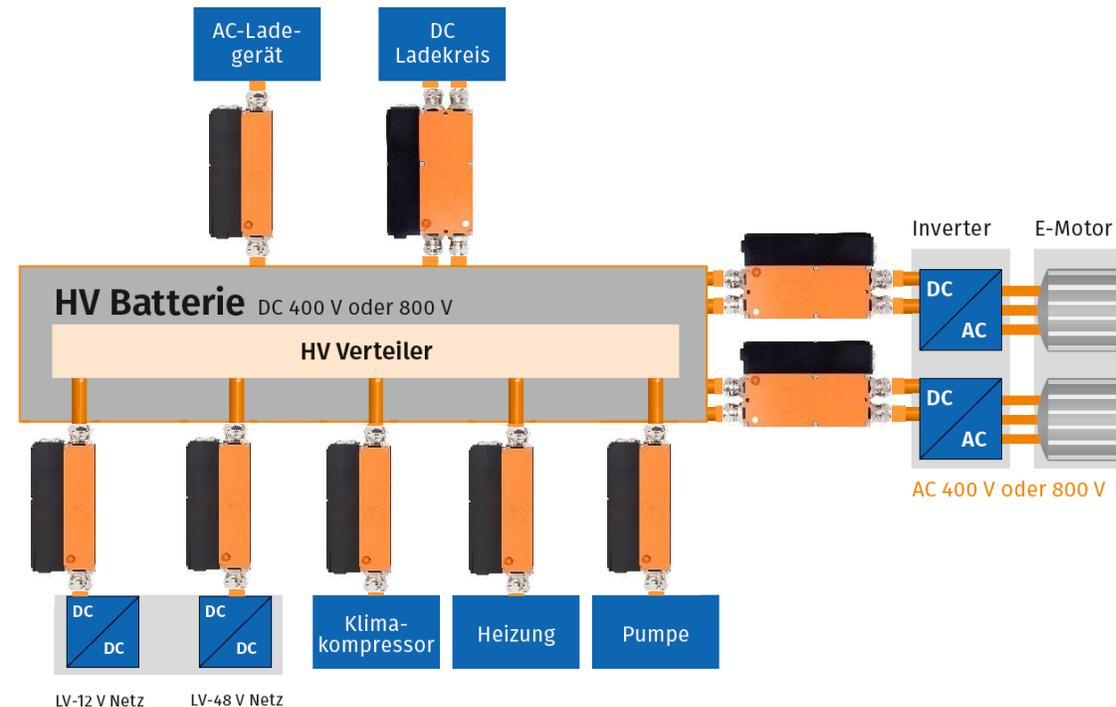




Verifikation der Hochvolt Bordnetzqualität

Überprüfen der Restwelligkeit der HV DC-Spannung

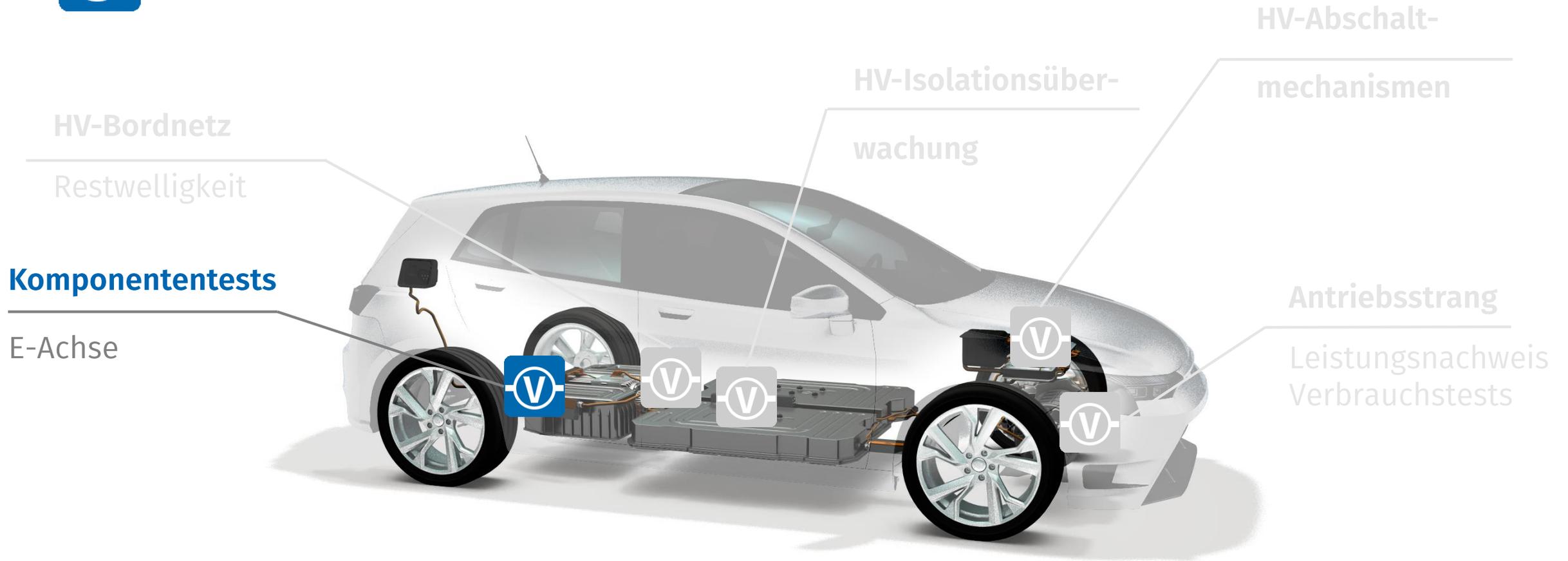
- ▶ HV-Batterie = Energiequelle
- ▶ Komponenten:
 - Kompressor
 - Wasserpumpe
 - PTC Heizer
 - DC/DC Converter
 - Lenkhilfe
 - Antriebsmaschine
- ▶ Neue Benutzerprofile
- ▶ Neue Testanforderungen



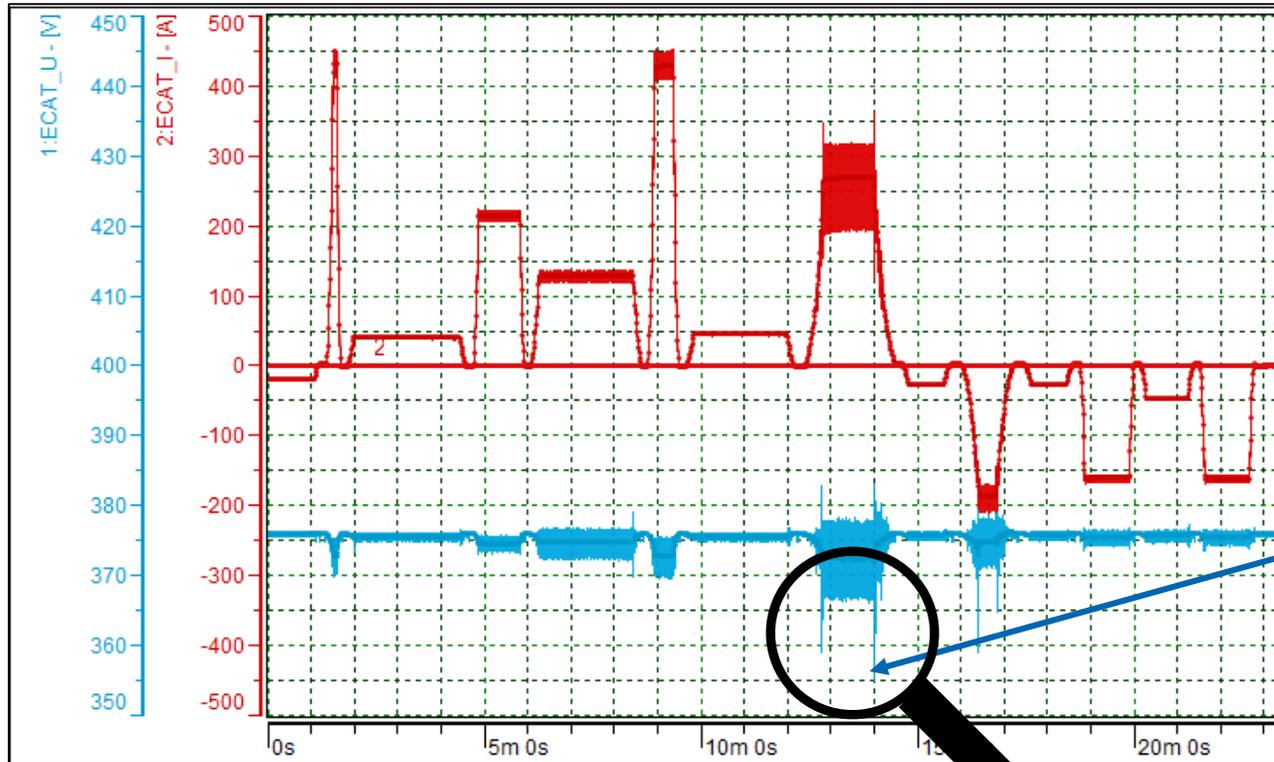
Anwendungen



Normen und Richtlinien (z. B. ECE R100, ISO 1010, DGUV 3, ISO 21498)



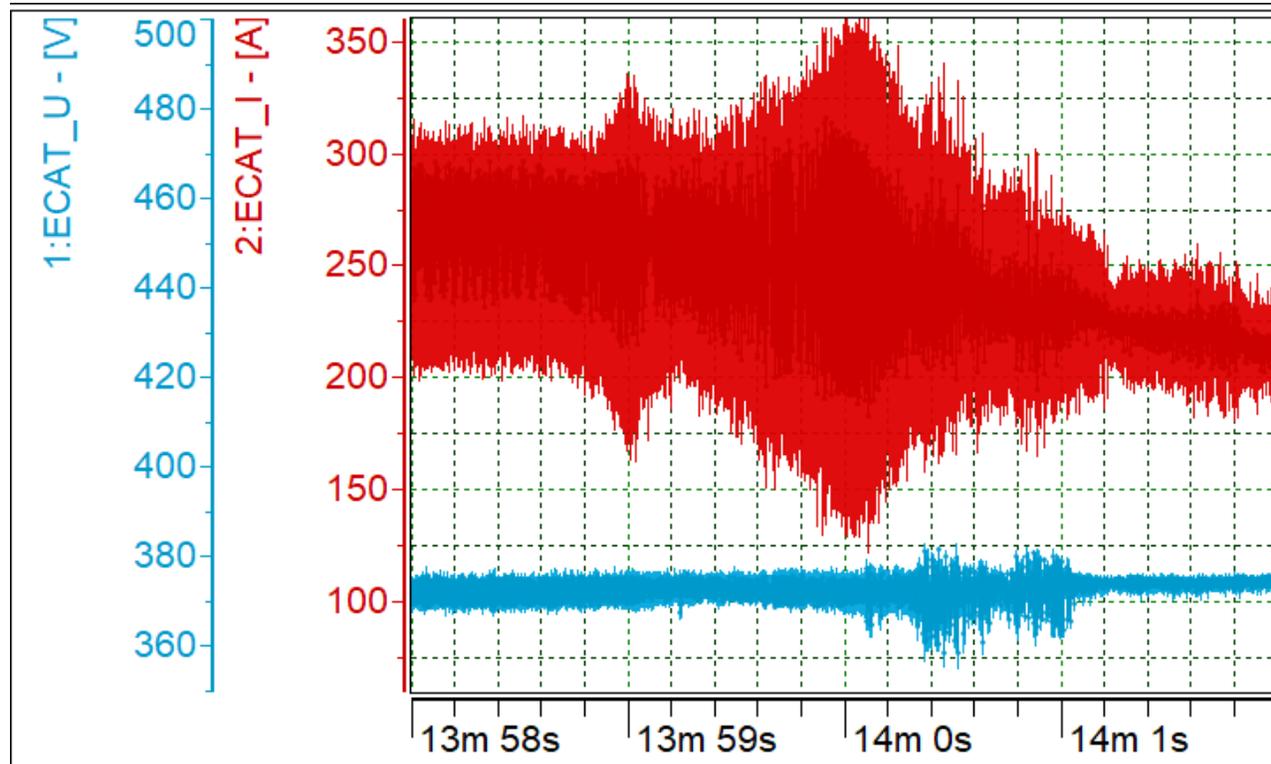
Vermessung einer elektrischen Achse mit HV BM 1.2



- ▶ Fahrversuch
- ▶ Verschiedene Fahrzyklen
- ▶ Fahren ($I > 0 \text{ A}$)
- ▶ Rekuperieren ($I < 0 \text{ A}$)

Zu große Spannungs-Spitzen

Vermessung einer elektrischen Achse mit HV BM 1.2



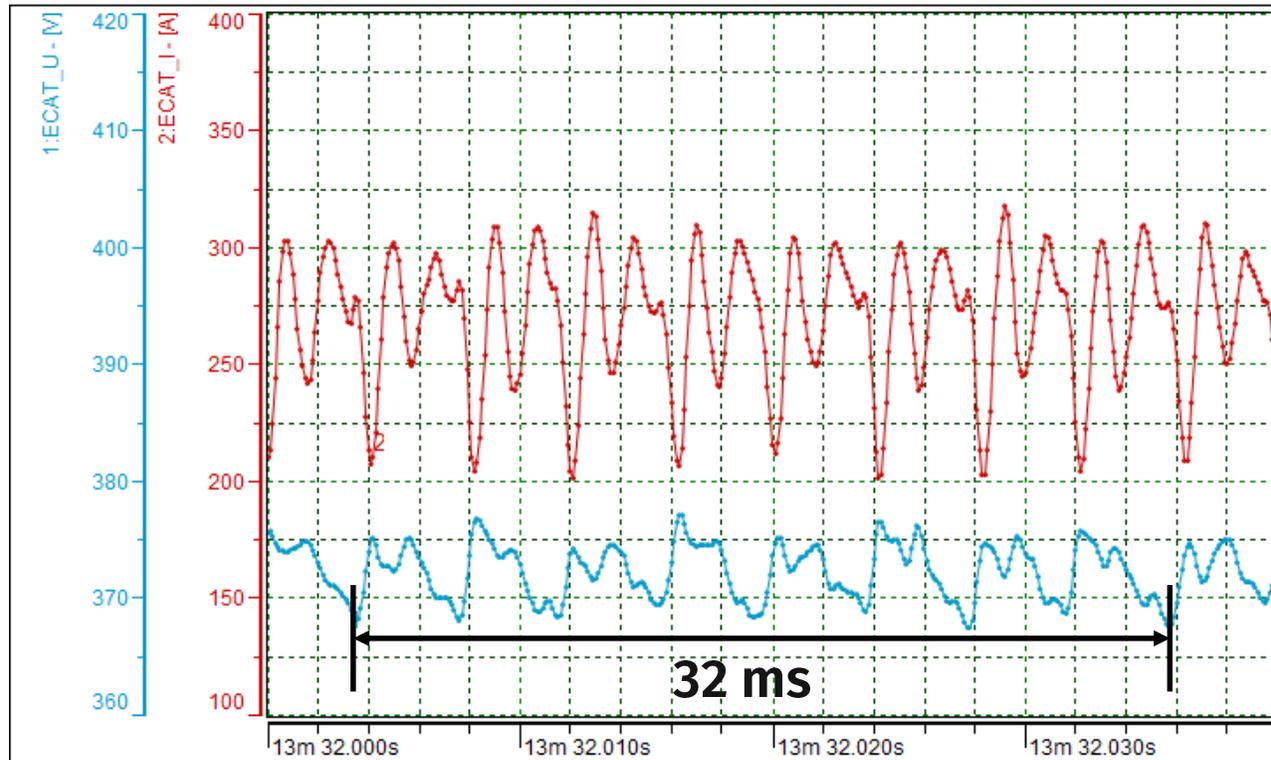
► Hohe Welligkeit von I

- $I_{\text{eff}} = 249 \text{ A}$
- $I_{\text{min}} = 122 \text{ A}$
- $I_{\text{max}} = 364 \text{ A}$
- $\sigma_I = 40,2 \text{ A}$

► **Zu hohe** Welligkeit von U

- $U_{\text{eff}} = 373 \text{ V}$
- $U_{\text{min}} = 355 \text{ V}$
- $U_{\text{max}} = 383 \text{ V}$
- $\sigma_U = 2,8 \text{ V}$

Vermessung einer elektrischen Achse mit HV BM 1.2



@ $P_{el} \sim 100 \text{ kW}$

1 Kästchen 2 ms

- ▶ Hohe Strom-Welligkeit
- ▶ Akzeptable Spannungs-Welligkeit
=> ISO 21498 (in Arbeit)

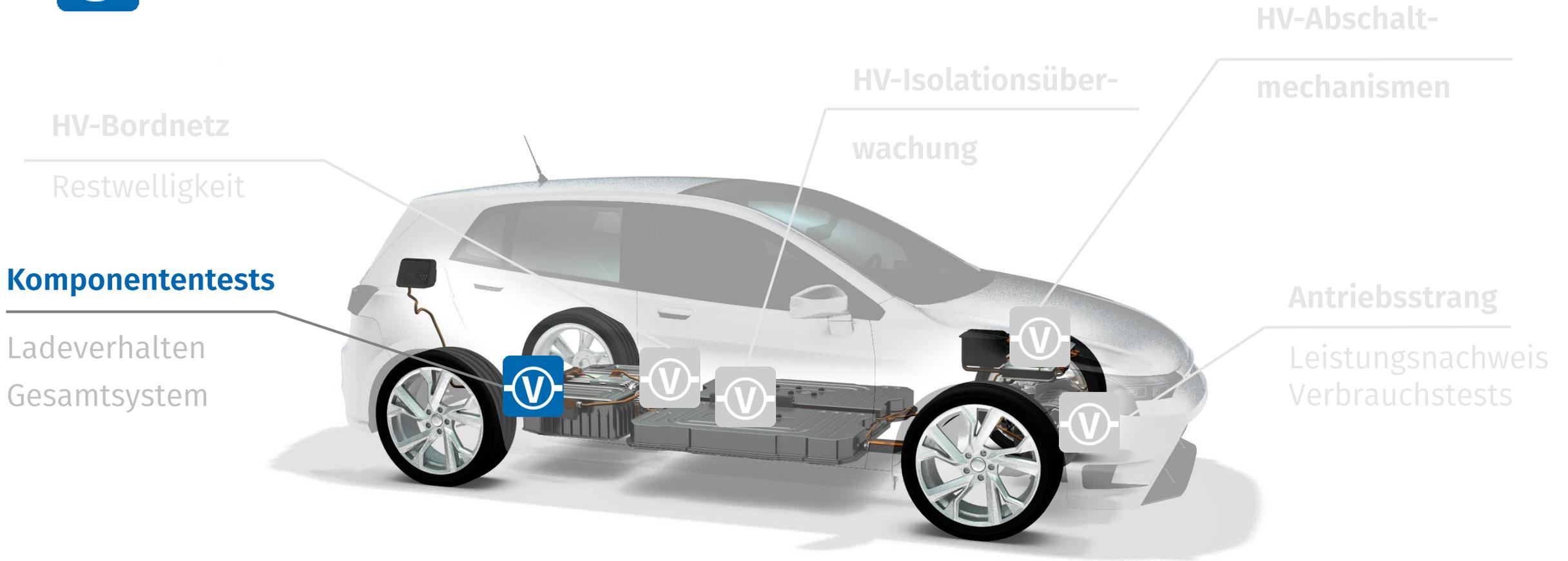
- ▶ $I_{eff} = 271 \text{ A}$
- ▶ $I_{min} = 203 \text{ A}$
- ▶ $I_{max} = 312 \text{ A}$
- ▶ $\sigma_I = 27,6 \text{ A}$
- ▶ $U_{eff} = 372 \text{ V}$
- ▶ $U_{min} = 368 \text{ V}$
- ▶ $U_{max} = 377 \text{ V}$
- ▶ $\sigma_U = 2,3 \text{ V}$

Genauere Messwerte erst bei Abtastrate jenseits von 100 kHz

Anwendungen

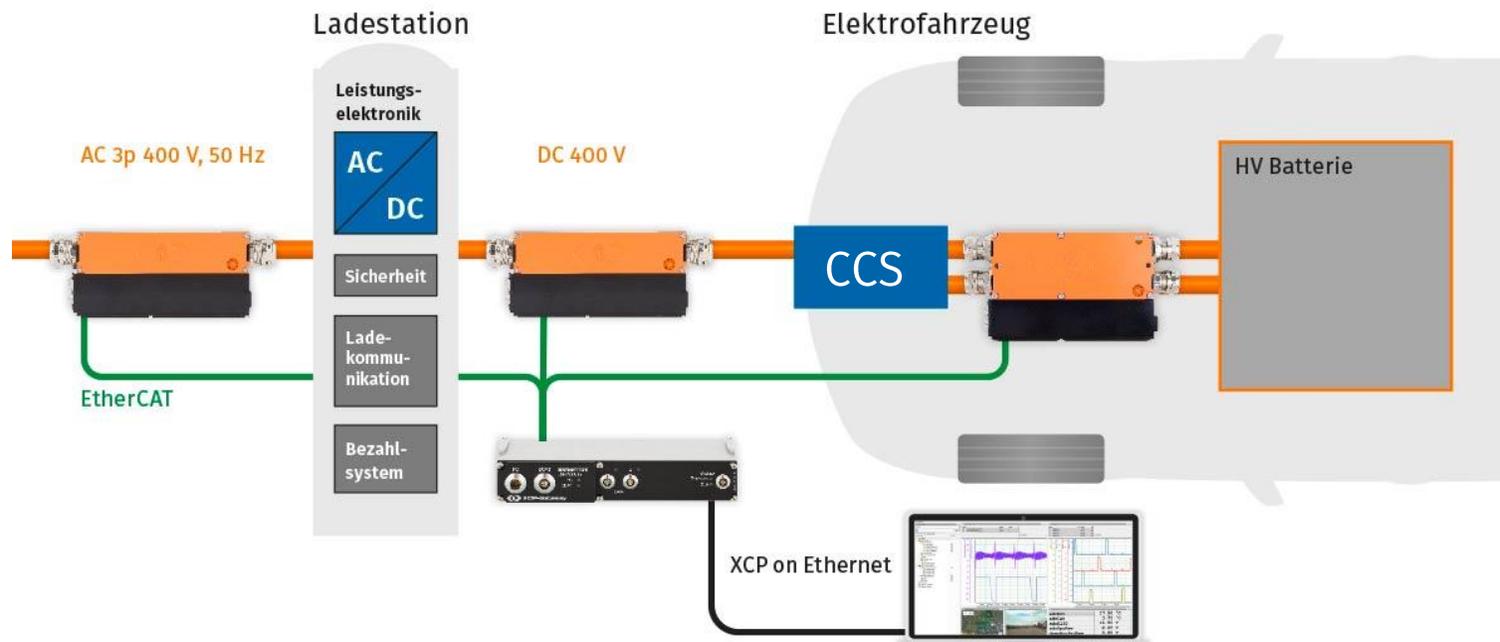


Normen und Richtlinien (z. B. ECE R100, ISO 1010, DGUV 3, ISO 21498)



Hochvoltmessung an Schnellladestationen

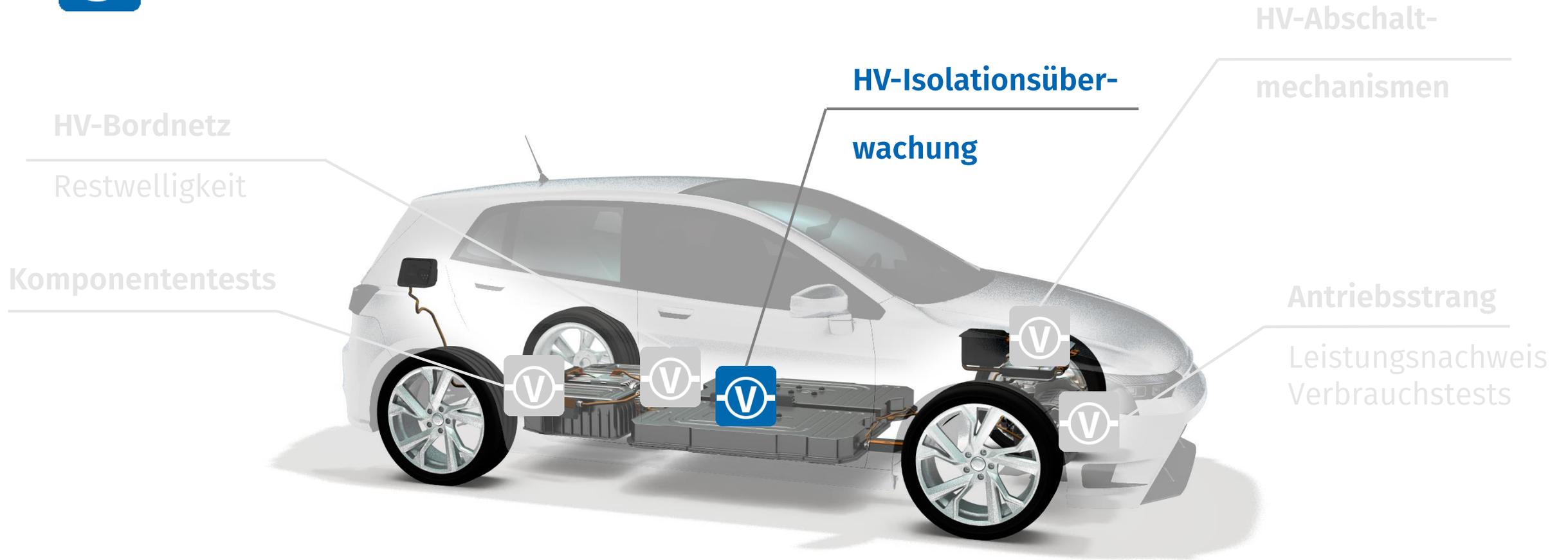
Die Überprüfung des Zusammenspiels von verschiedenen Wandlern und Leistungselektroniken in Ladestationen und verschiedenen Fahrzeugtypen erfordert Messungen an vielen Punkten in der gesamten Ladekette.



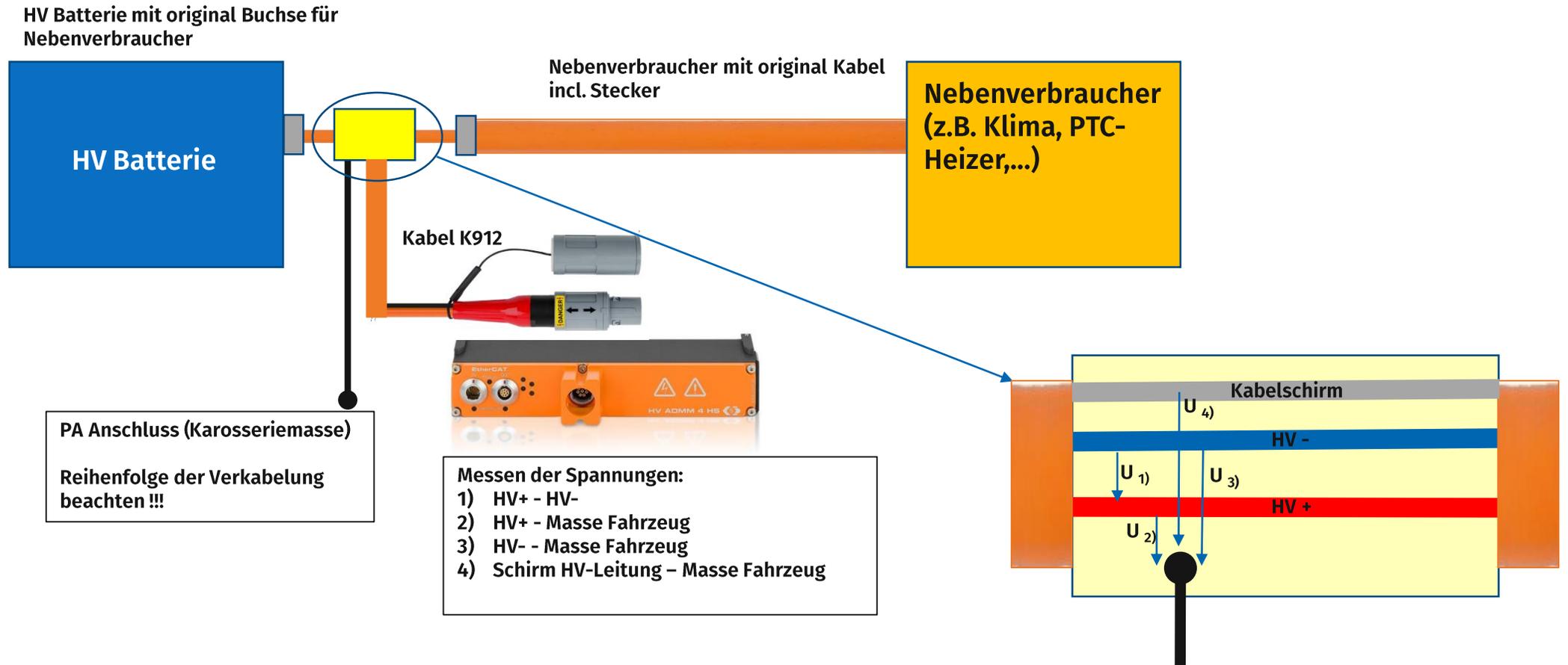
Spannungsmessung in der E-Mobility



Normen und Richtlinien (z. B. ECE R100, ISO 1010, DGUV 3, ISO 21498)



Überprüfen der Schutzmechanismen im nicht-geerdeten HV-Bordnetz (IT-Netz)



Spannungsmessung in der E-Mobility

	CAN & ECAT - Messtechnik	HV CAN & ECAT - Messtechnik	HV Breakout-Module
Messbereich	±10 mV bis ±90 V	±1 V bis ±1.000 V (± 2.000 V Peak)	±50 V bis ±1.000 V (±2.000 V Peak)
Abtastrate	bis 1.000 kHz	bis 1.000 kHz	bis 1.000 kHz
Isolierung (nach EN 61010)	Basis-Isolierung	Verstärkte Isolierung	Verstärkte Isolierung
Besonderes			Simultane Strommessung und Leistungsberechnung



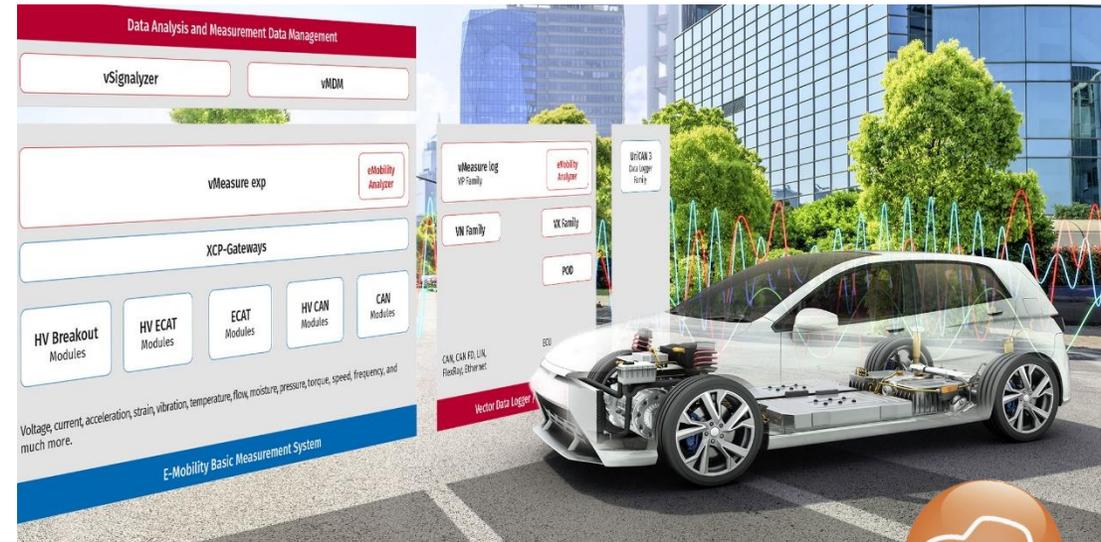
Über CSM

CSM setzt seit über 35 Jahren technologische Maßstäbe für dezentrale Messtechnik in der Fahrzeugentwicklung. Unsere CAN-Bus und EtherCAT®-Messgeräte unterstützen weltweit namhafte Fahrzeughersteller, Zulieferer und Dienstleister bei ihren Entwicklungen.

Permanente Innovation und langfristig zufriedene Kunden sind unser Erfolgsgarant. Gemeinsam mit unserem Partner Vector Informatik haben wir ein einfach skalierbares und leistungsfähiges E-Mobility-Messsystem für Hybrid und Elektrofahrzeuge entwickelt und bauen die Anwendungsbereiche stetig aus. Mit unseren Hochvolt-sicheren, für schnelle und synchrone Messungen und Leistungsanalysen ausgelegten Messsystemen begleiten wir aktiv den Wandel zur **E-Mobility**.

CSM GmbH

Computer-Systeme-Messtechnik
Raiffeisenstraße 36, 70794 Filderstadt
Tel.: +49 711 - 77 96 40
E-Mail: sales@csm.de



Weitere Informationen und die aktuellen Termine von
CSM Xplained finden Sie unter

www.csm.de/webseminars



CSM Xplained
measurement technology