



Strommessung in der E-Mobility

CSM Web-Seminare



CSM **Xplained**
measurement technology

Strommessung in der E-Mobility

- ▶ Übersicht
 - Grundlagen
 - Messgeräte
 - Beispiele



Elektrischen Strom messen

Elektrischer Strom, bekannt aus Literatur, Studium, Internet, Praxis

- ▶ Gleichstrom (DC)
- ▶ Wechselstrom (AC)
- ▶ Mischstrom

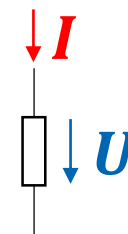
Strommessgeräte = Strommesser = Amperemeter

Messumformer: I messen, Ausgang I oder U oder ...

Messumsetzer: I messen, Ausgang auf digitalem Bus

Viele Bauformen und Messverfahren, populäre:

- ▶ Stromzange, Klappwandler, geschlossener Ring
- ▶ Shunts, Hallsensoren, Nullflusswandler, Rogowski-Spulen
- ▶ Bandbreite?, DC?



$$I = \frac{U}{R_{shunt}}$$



Wo treten Ströme auf den Kabeln auf?

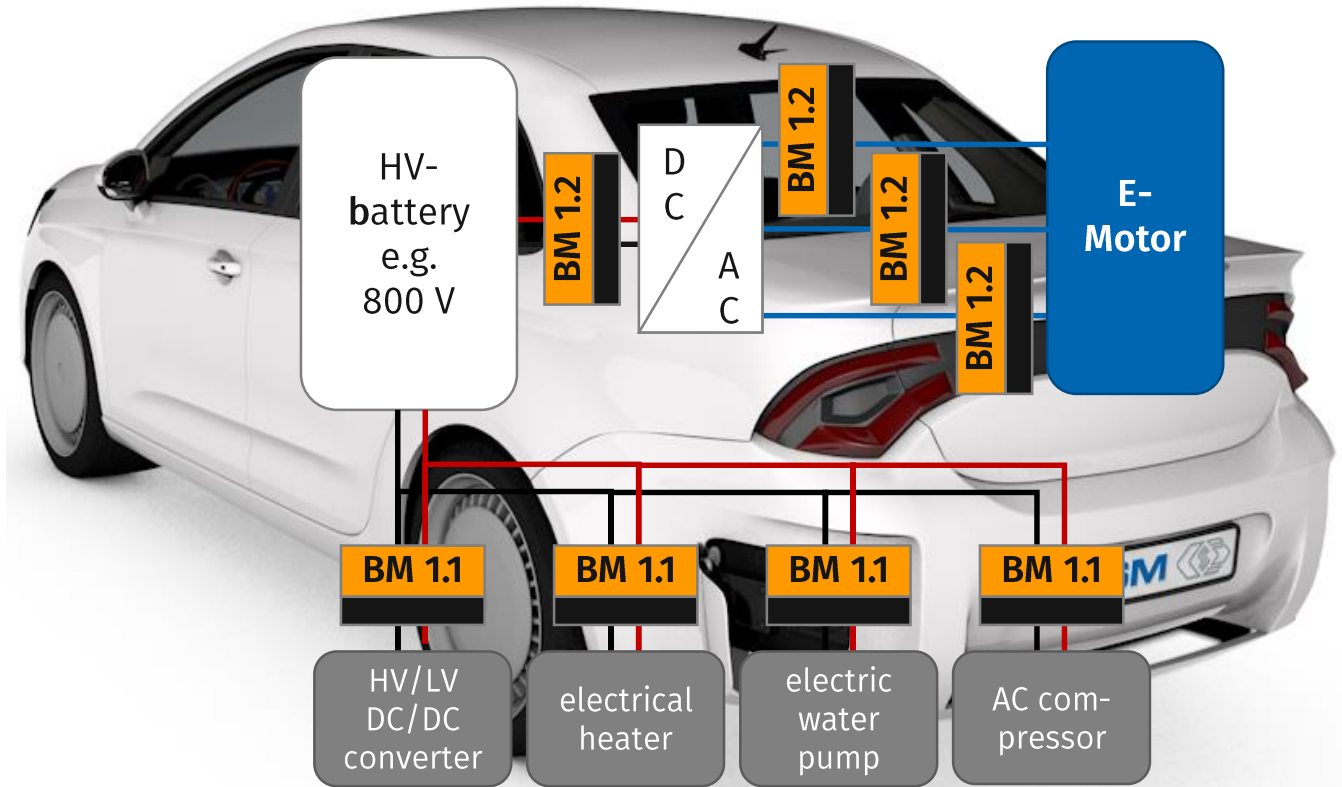
- ▶ Innenleiter
 - Große veränderliche Anteile des Stroms?
- ▶ => Strom auf dem Schirm

- ▶ Abgebrannte Kontaktierungen?
- ▶ Verschmorte Leitungen?

- ▶ Schirmströme
 - In der Regel zwischen LE und E-Maschine
 - Zwischen LE und Bremswiderstand



Elektrischer Strom in der Elektromobilität



HV-Batterie speist Verbraucher

- ▶ Inverter -> E-Maschine
- ▶ Kleinverbraucher

Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

Kleinverbraucher haben eingebaute PWM-Regelung

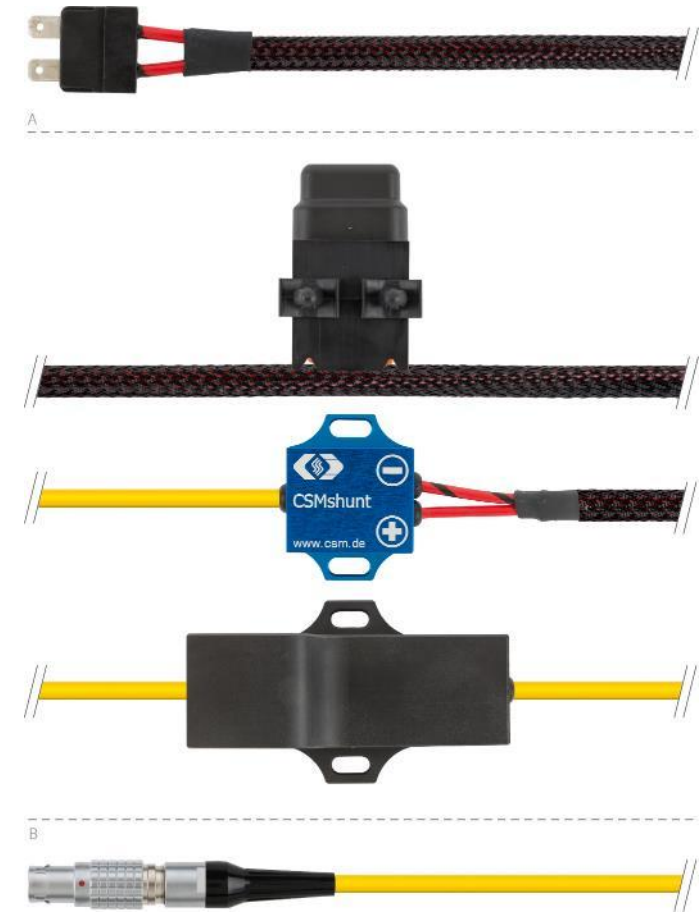
Strom ist nie nur Gleichstrom

Strom hat Wechselanteile

WLTC – Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



WLTC – Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

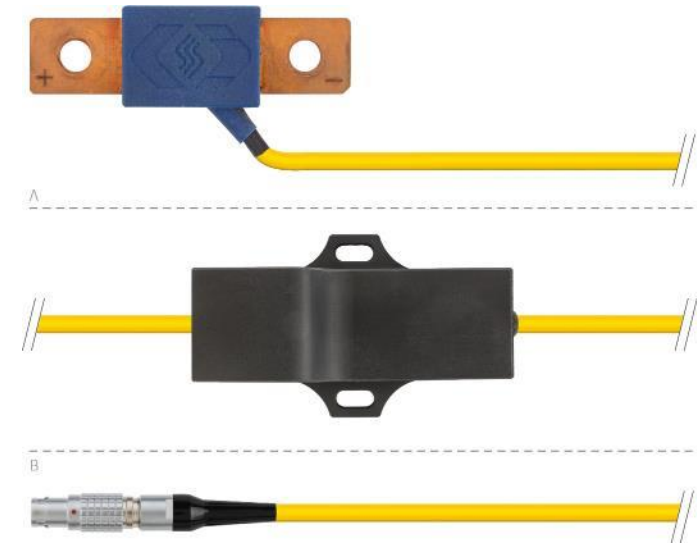
- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



WLTC – Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

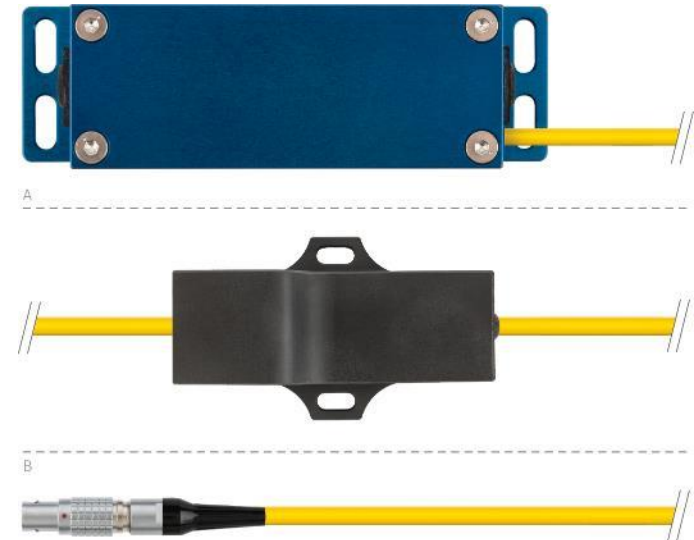
- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



WLTC – Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

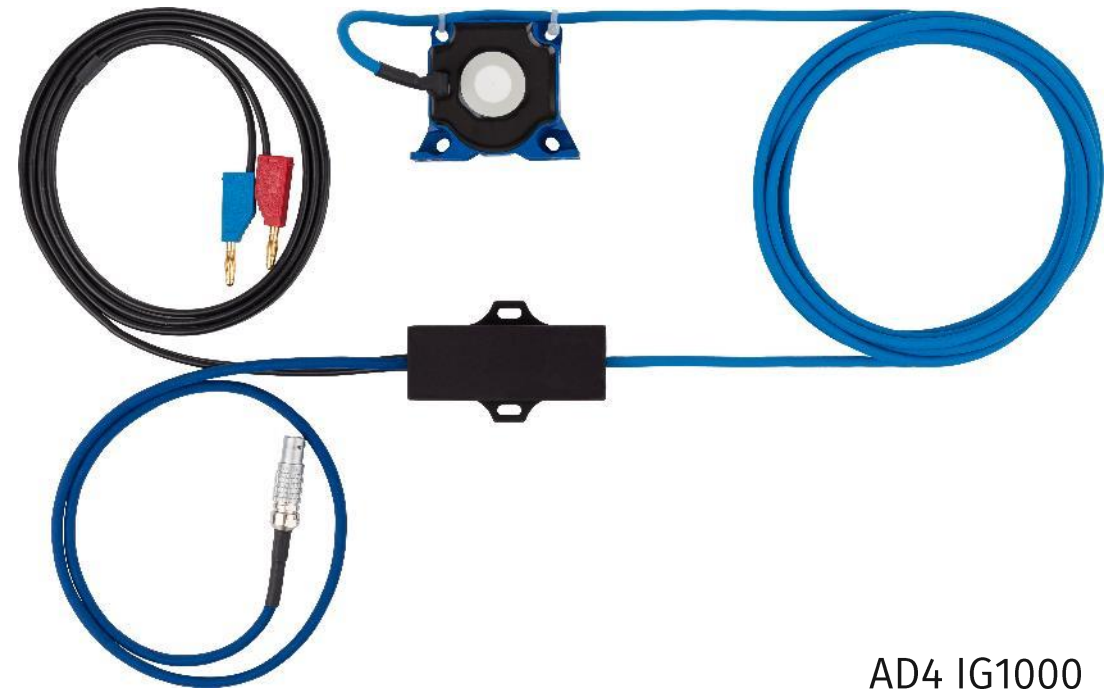
- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



LEM Sensorpakete von CSM LV und HV, DC .. ≥ 100 kHz

Strommessungen

- ▶ Große Vielfalt an Messbereichen
 - ± 5 A .. $\gg \pm 1000$ A
- ▶ Integrierte DC-Versorgung
 - 9 V .. 36 V
- ▶ Messung von U_{out} mit schnellem AD-Wandler
- ▶ Parametrierung und Kalibrierdaten im TEDS-Chip
- ▶ (HV-) Stecker passt nicht durch LEM
- ▶ $I_{\text{mess}} = \text{Schirmstrom} + \text{Innenleiter}$



CSM AD-Wandler und Messumformer von HIOKI, DC .. ≥ 100 kHz

Strommessungen mit Zange

- ▶ Diverse Messbereiche
- ▶ Messung von U_{out} mit schnellem AD-Wandler
- ▶ Begrenzter Temperaturbereich
- ▶ Fahrzeugtauglich?
 - Prüfstand
 - Fahrversuch

- ▶ I_{mess} = Schirmstrom + Innenleiter



CSM HV Breakout-Module (HV BM) zur Messung von I und U, Berechnung von P

Zu den HV BM
auf www.csm.de



Es gibt verschiedene HV-sichere Module

- ▶ Für einphasige Messungen von
 - Strom, Shunt-Einsätze, I_{nom} :
 $\pm 50 \text{ A}$, $\pm 125 \text{ A}$, $\pm 250 \text{ A}$, $\pm 500 \text{ A}$, $\pm 800 \text{ A}$
 - I_{Peak} bis $\pm 1.400 \text{ A}$
 - Spannung:
Bis 1 kV Arbeitsspannung und
2 kV für Spitzen
- ▶ 1 MHz Sampling
- ▶ Ausgänge I, U, P
 - EtherCAT und CAN



HV BM 1.2
=
1 Phase
2 PG's

CSM HV Breakout-Module (HV BM) zur Messung von I und U, Berechnung von P

Shunts sind kalibrierte Einsätze

- ▶ Kalibrierdaten im Chip gespeichert
- ▶ Temperaturkompensiert
- ▶ Anpassung an den Messbereich



PA (Potenzial-
Ausgleich)



HV BM 1.1
=
1 Phase
1 PG

CSM HV Breakout-Module (HV BM) zur Messung von I und U, Berechnung von P

Es gibt verschiedene HV-sichere Module

- ▶ Für dreiphasige Messungen
 - I_{nom} : ± 32 A
 - I_{Peak} bis ± 50 A
 - Bis 1 kV Arbeitsspannung
- ▶ Ausgänge I, U, P
 - EtherCAT bis 500 kS/s
 - CAN



HV BM 3.1
=
3 Phasen
1 PG

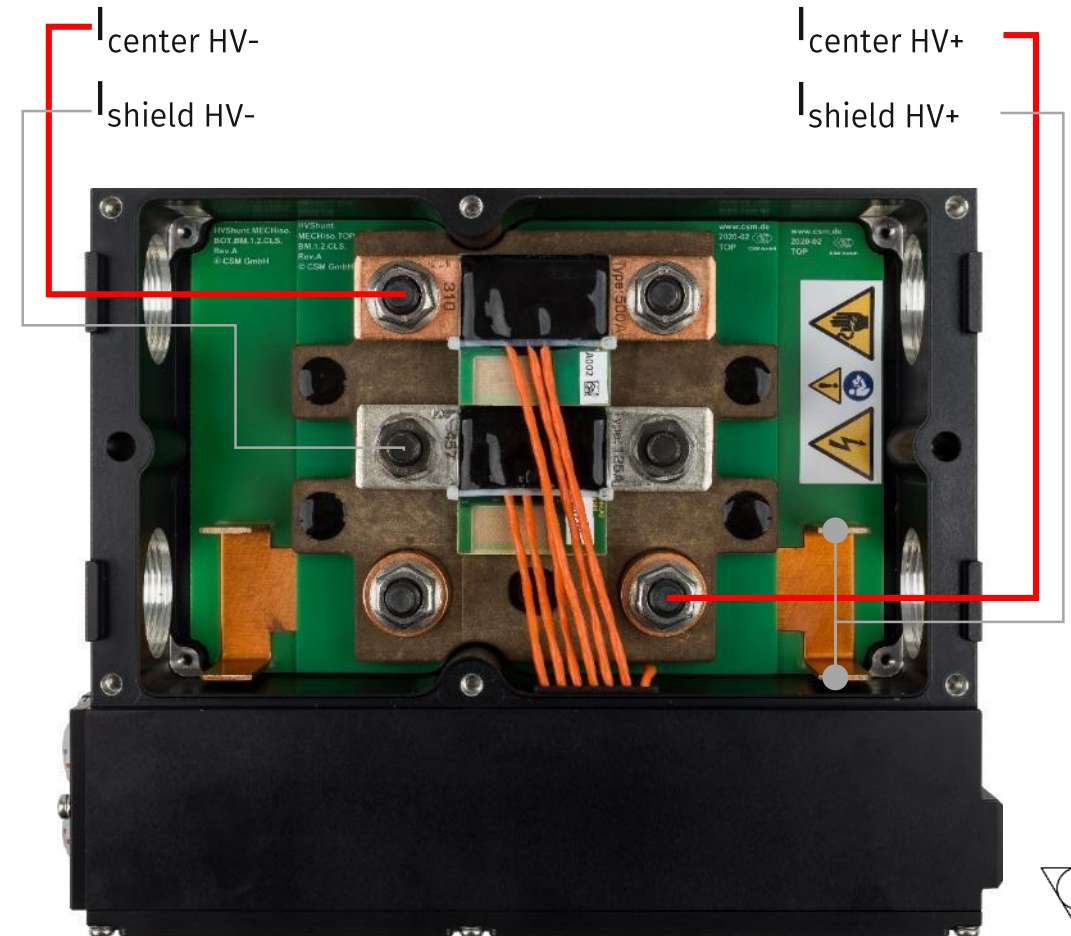


CSM HV BM 1.2+S

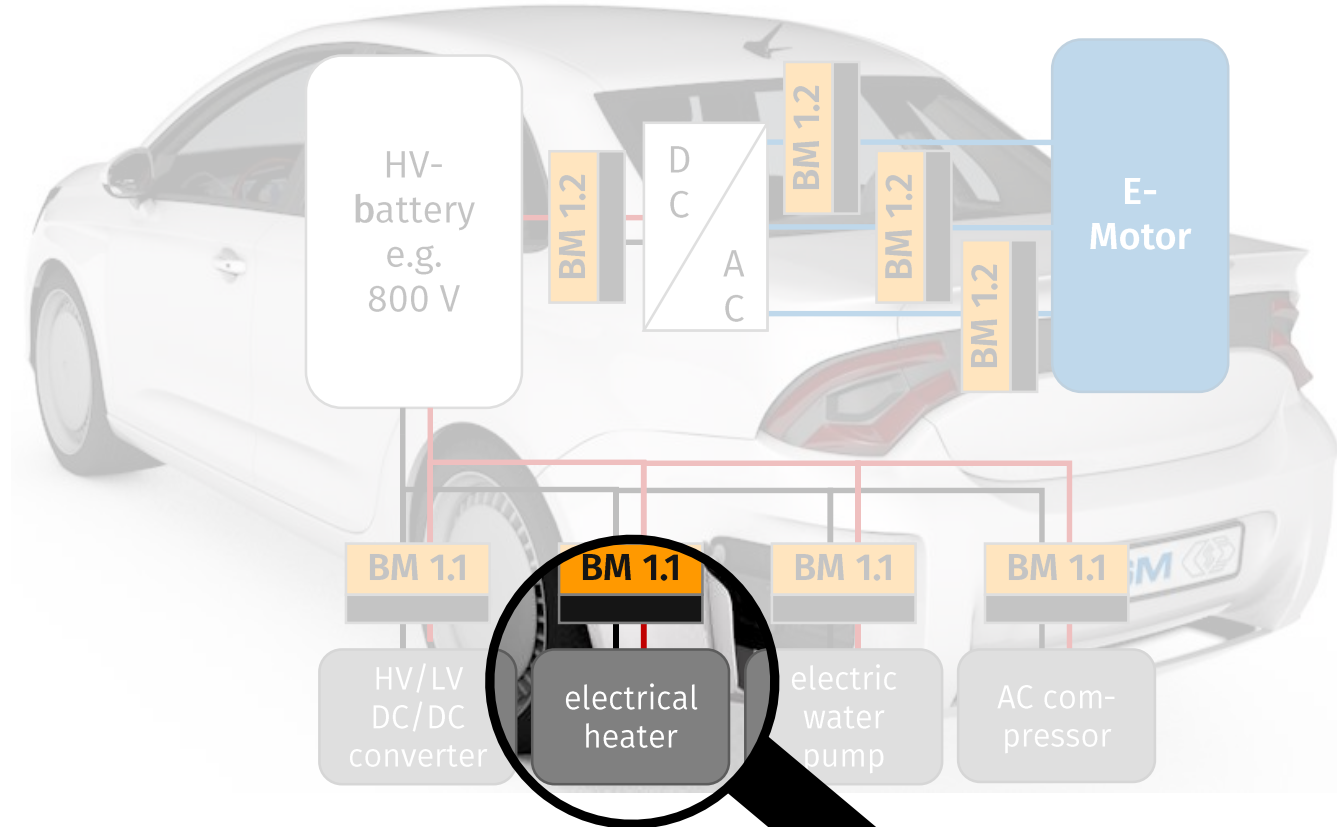
HV Breakout-Module (HV BM) zur Messung von

Schirmstrom I_S und Innenleiterstrom I_C

- ▶ Schirm ist vom Gehäuse isoliert



Elektrischer Strom in der Elektromobilität



HV-Batterie speist Verbraucher

- ▶ Inverter -> E-Maschine
- ▶ Kleinverbraucher

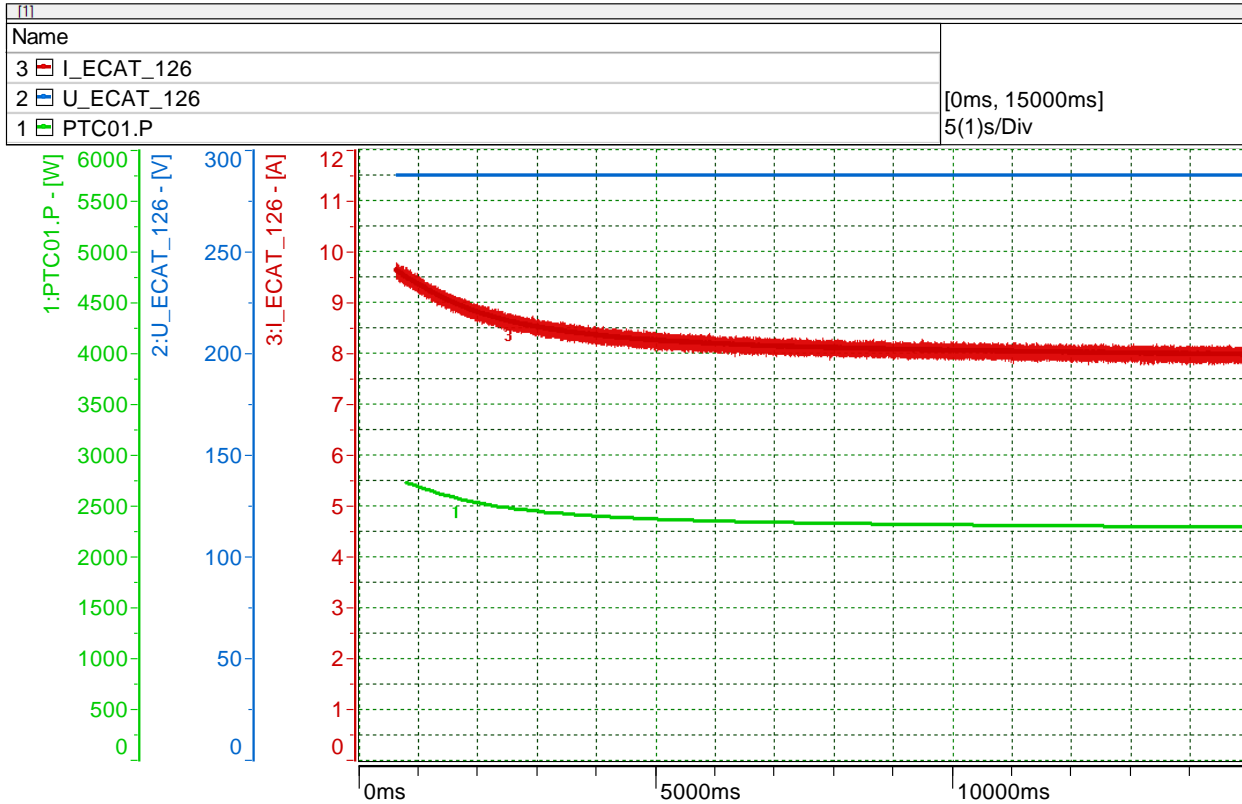
Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

Kleinverbraucher haben eingebaute PWM-Regelung

Strom ist nie nur Gleichstrom!

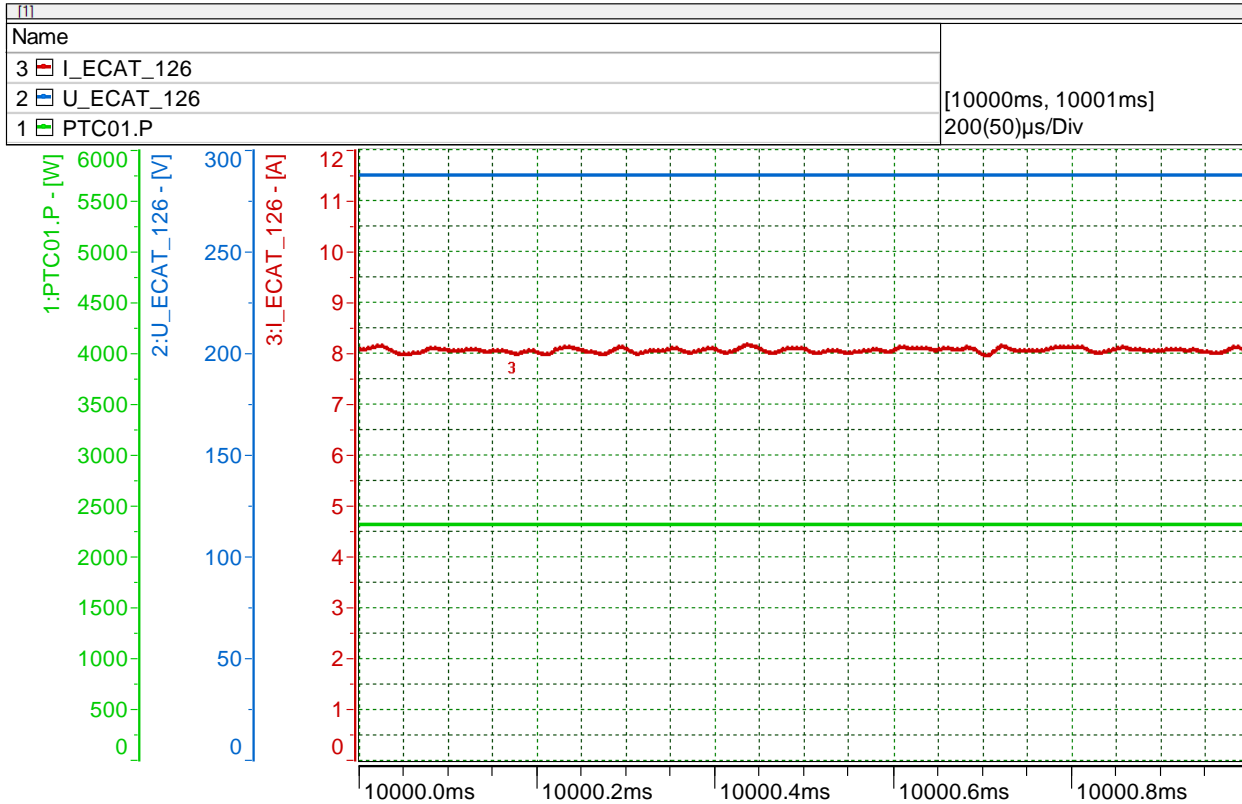
Strom hat Wechselanteile.

PTC-Heizer



- ▶ Stabile Versorgungsspannung
- ▶ Heizelement erwärmt sich
- ▶ Strom und Leistung sinken am Anfang

PTC-Heizer

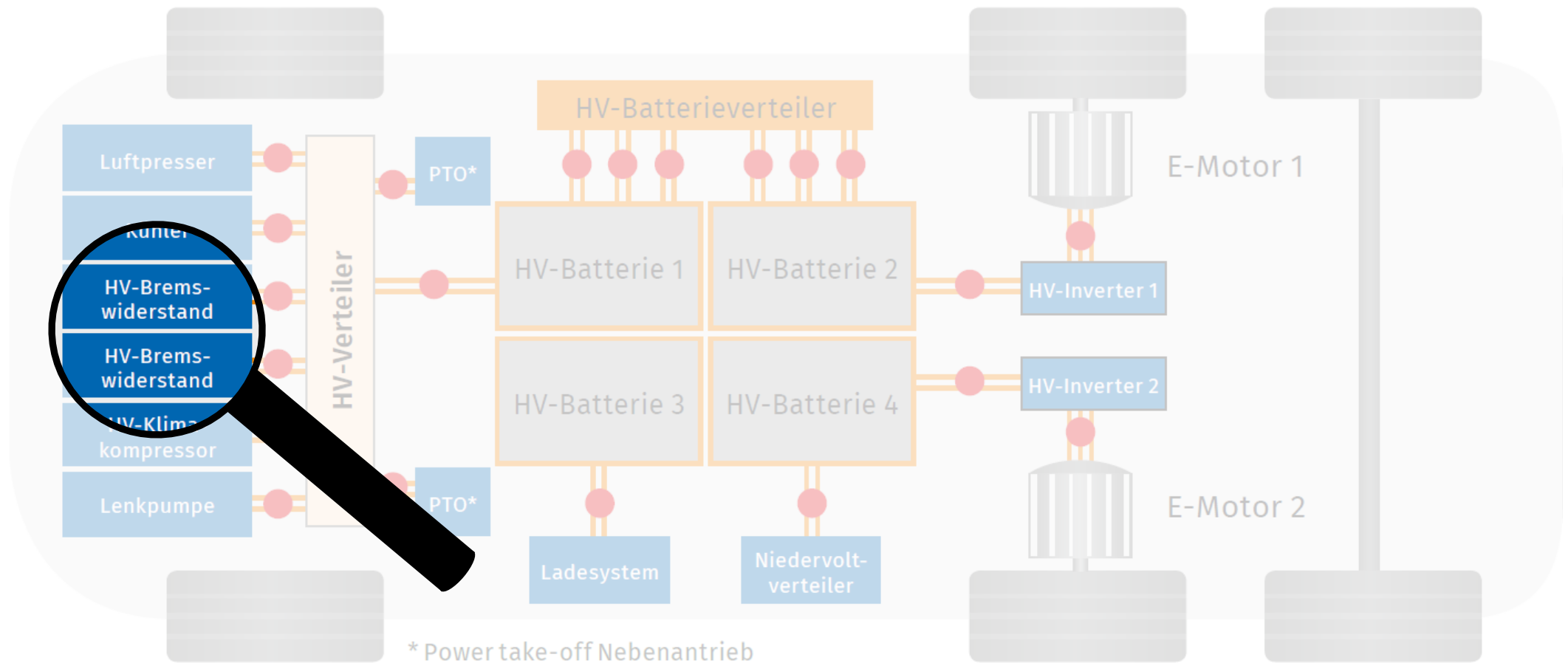


Heizleistung ist PWM-geregelt

Gut dimensionierter Pufferkondensator

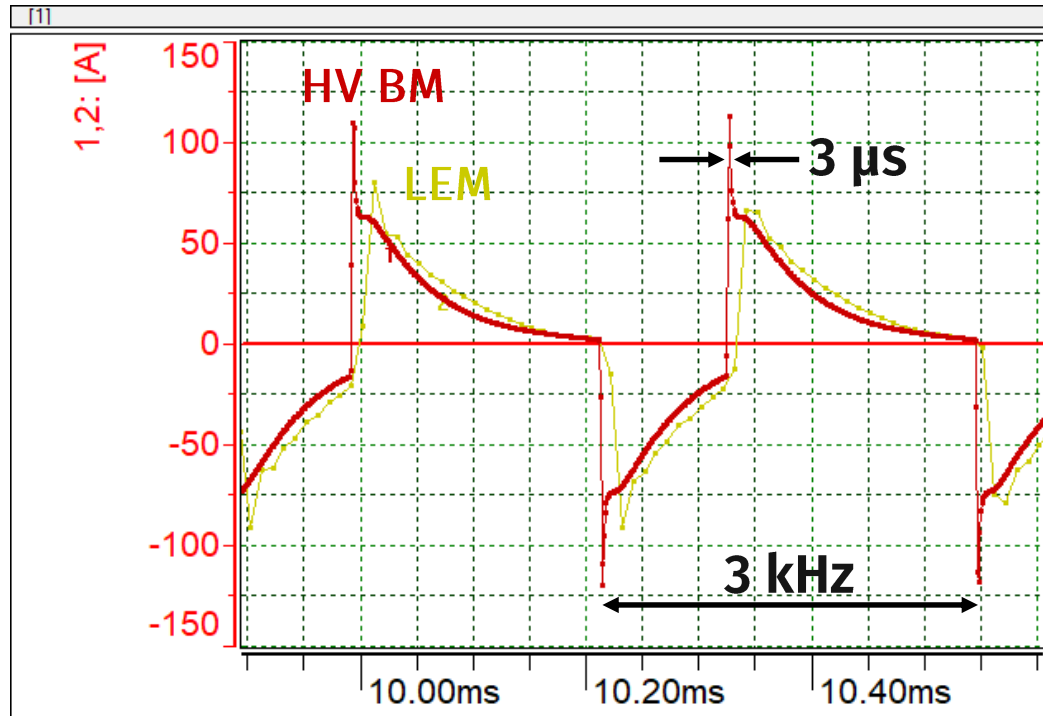
- ▶ Wenig Rückwirkung auf die Versorgungsspannung
- ▶ Wenig Welligkeit bei der Stromaufnahme

Nutzfahrzeug, HV-Bordnetz





Bremswiderstand, Messung des Schirmstroms



PWM-geregelte Bremsleistung

3 kHz Grundfrequenz

HV BM

- ▶ $f_{3dB} > 300$ kHz für U und I

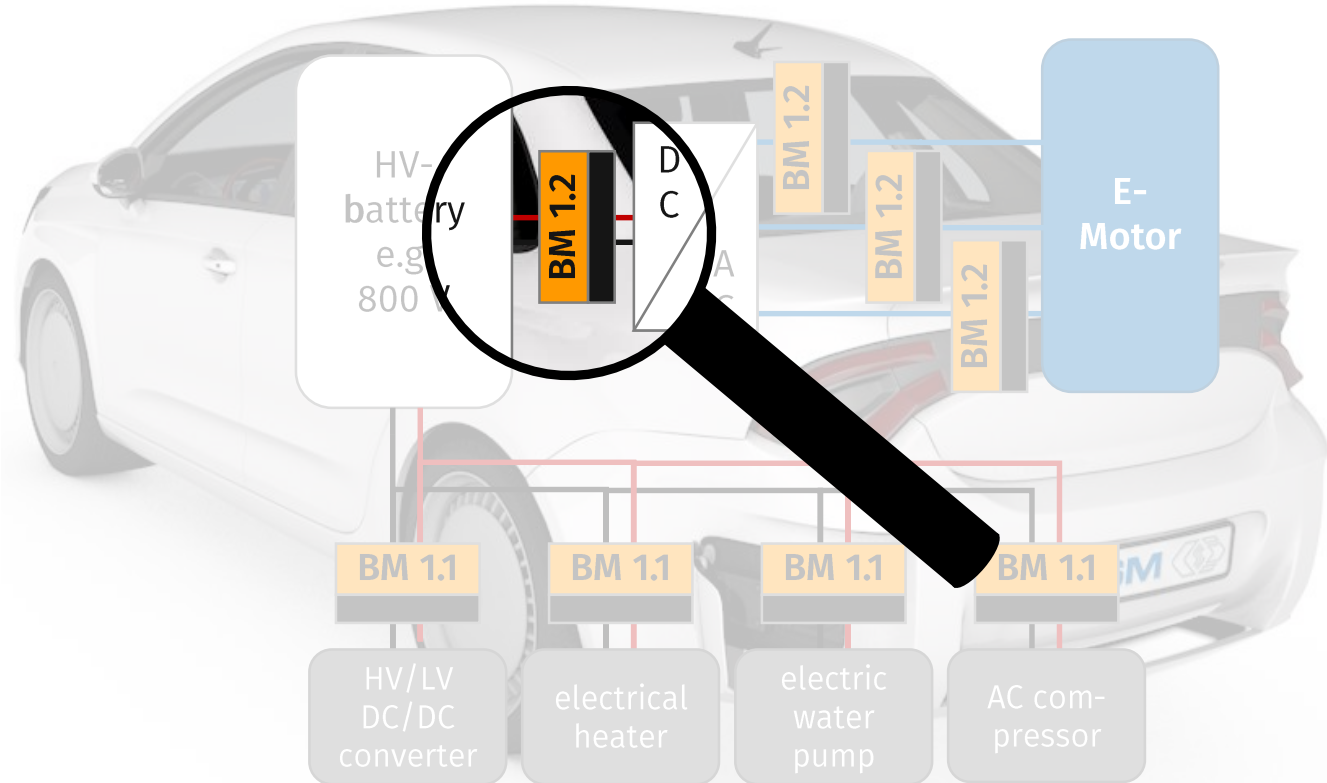
LEM Sensor Package + AD4 IG1000

- ▶ f_{3dB} ca. 100 kHz für I
- ▶ Zu kleine Bandbreite der Strommessung, um Spitzen aufzulösen

Gemessene, maximale Schirmströme:

- ▶ I_{max} : LEM = 90 A | HV BM 120 A

Elektrischer Strom in der Elektromobilität



HV-Batterie speist Verbraucher

- ▶ Inverter -> E-Maschine
- ▶ Kleinverbraucher

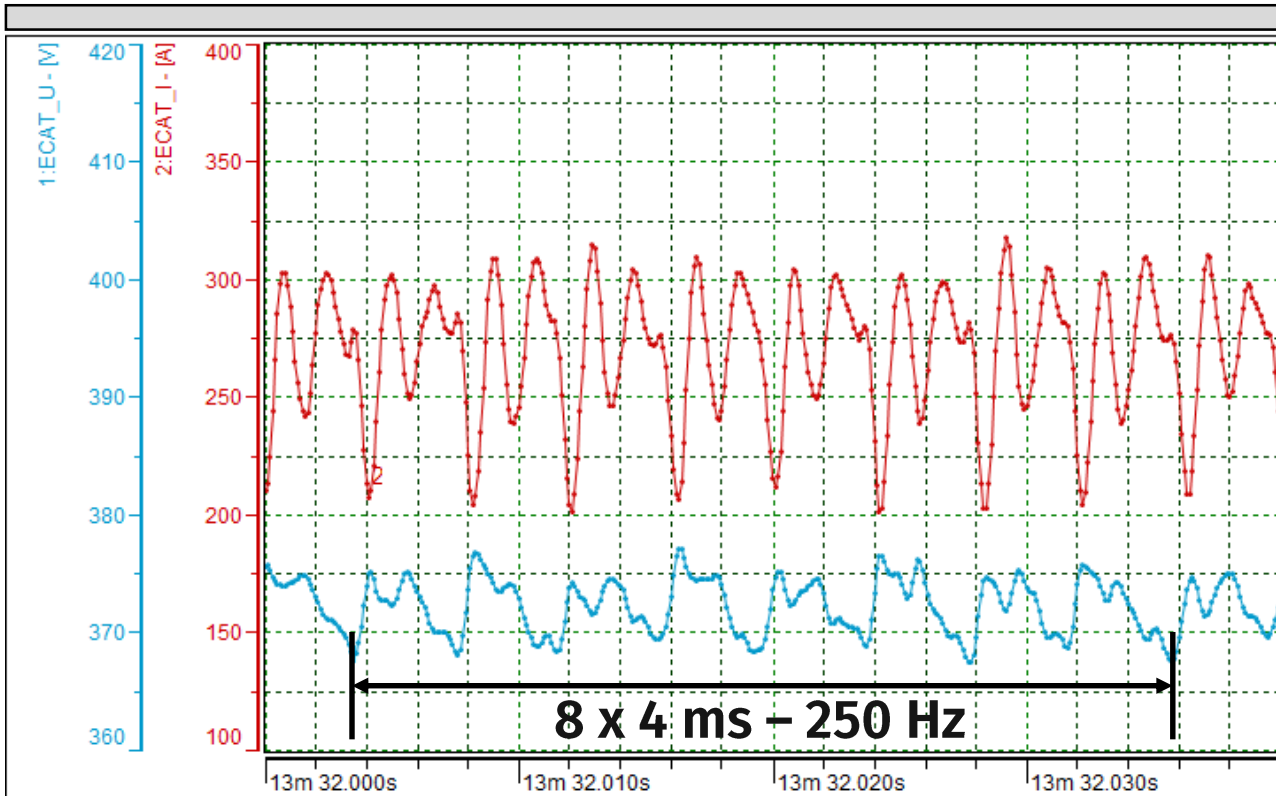
Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

Kleinverbraucher haben eingebaute PWM-Regelung

Strom ist nie nur Gleichstrom!

Strom hat Wechselanteile.

Elektrische Achse, HV BM 1.2, Messung von Strom und Spannung



▶ PWM-geregelte Antriebsleistung

▶ Große Dynamik des Stroms

▶ $I_{\text{eff}} = 271 \text{ A}$

▶ $I_{\text{min}} = 203 \text{ A}$

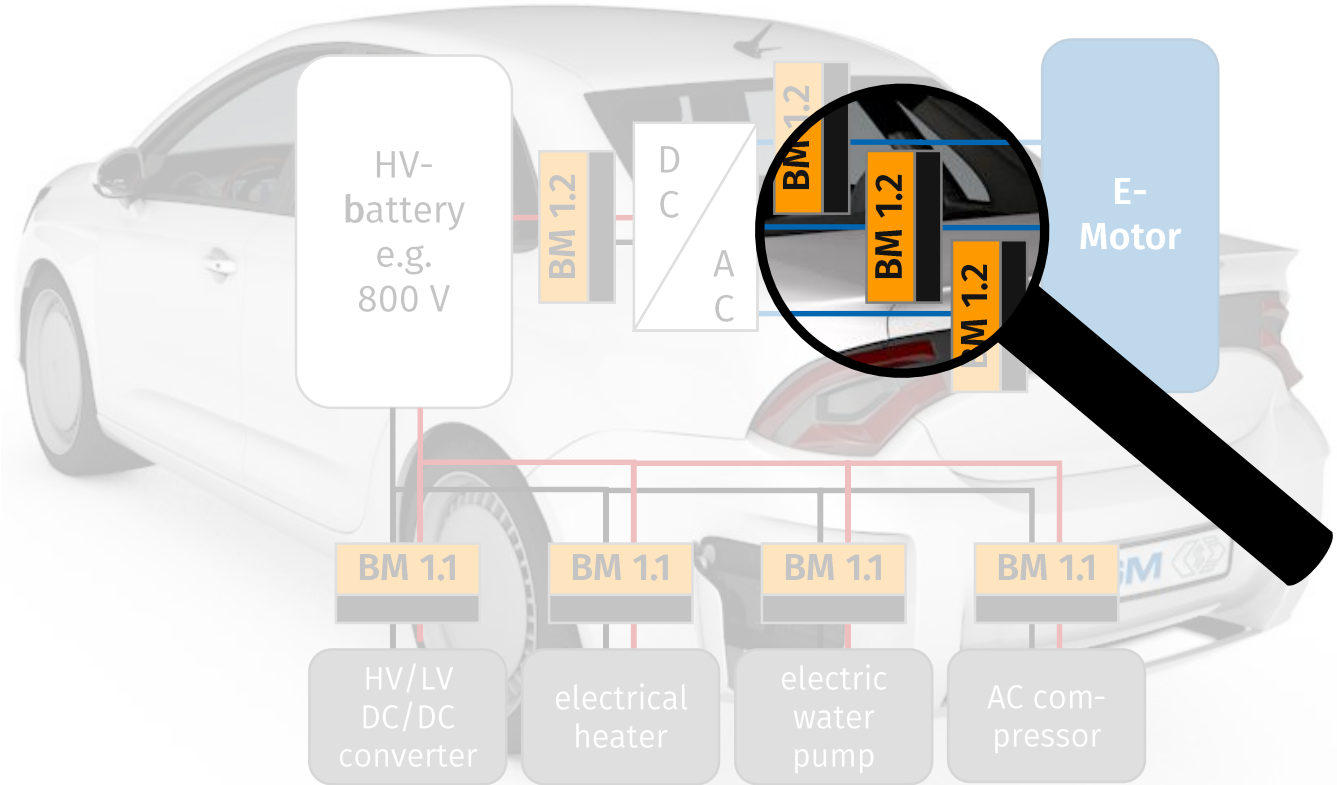
▶ $I_{\text{max}} = 312 \text{ A}$

▶ $\sigma_I = 27.6 \text{ A}$

▶ $U_{\text{eff}} = 372 \text{ V}$

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

Elektrischer Strom in der Elektromobilität



HV-Batterie speist Verbraucher

- ▶ Inverter -> E-Maschine
- ▶ Kleinverbraucher

Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

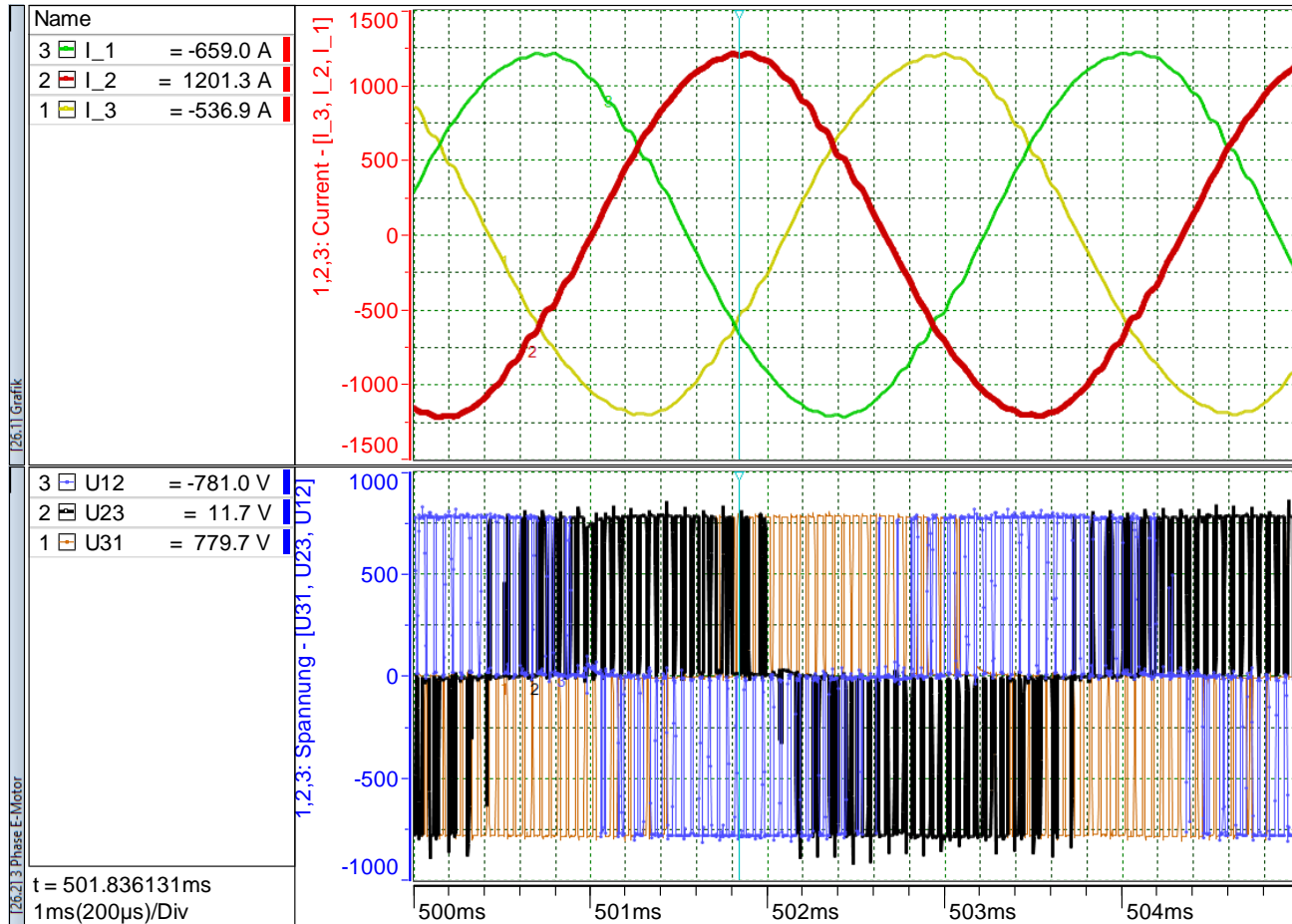
Kleinverbraucher haben eingebaute PWM-Regelung

Strom ist nie nur Gleichstrom!

Strom hat Wechselanteile.

E-Maschine, dreiphasig, HV BM 1.2, Messung von Strom und Spannung

Zum
Anwendungsfall auf
www.csm.de

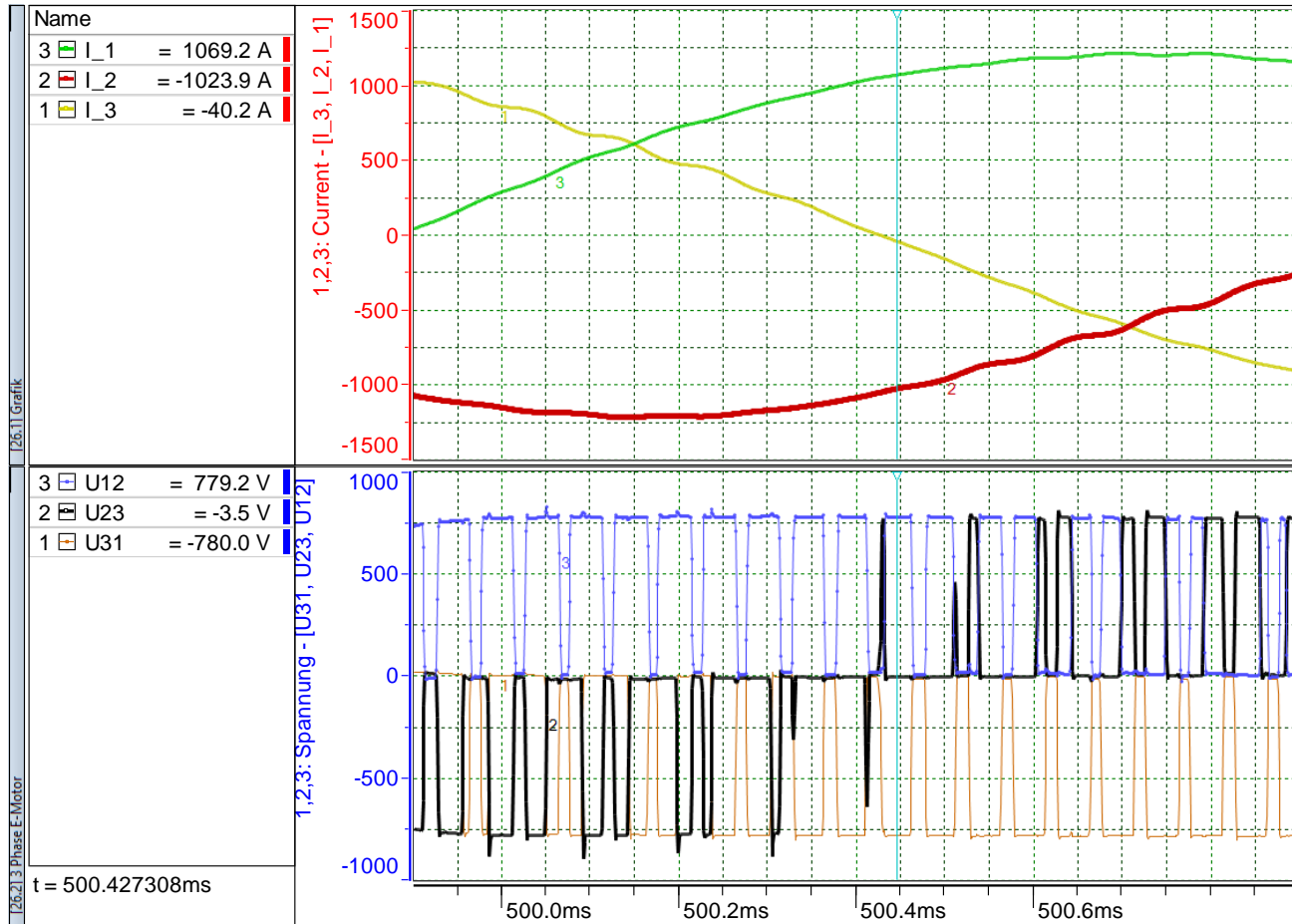


- ▶ Motorströme @ 300 Hz (3,3 ms)
- ▶ Synchronmaschine
- ▶ 3 Polpaare
- ▶ 6000 U/min

- ▶ PWM und Inverter sichtbar

@ $P_{el} \sim 550 \text{ kW}$

E-Maschine, dreiphasig, HV BM 1.2, Messung von Strom und Spannung

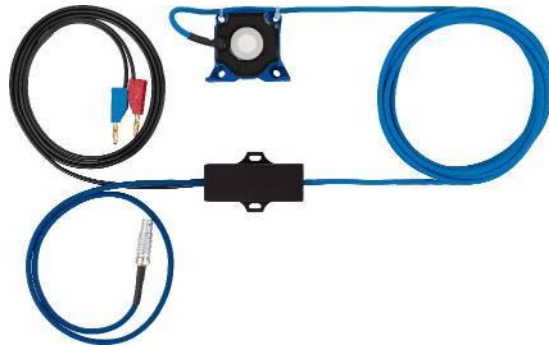
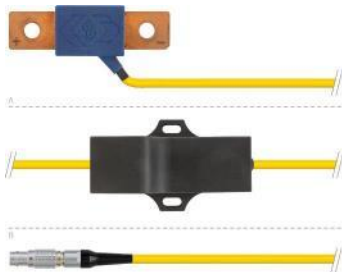


- ▶ PWM @ 20 kHz (50 μs)
- ▶ U₂₃ wird im Bild invertiert

@ P_{el} ~ 550 kW

Strommessung in der E-Mobility mit CSM-Messtechnik

- ▶ LV und HV
- ▶ Shunts, LEM, Hioki, HV BM
- ▶ DC .. >> 100 kHz
- ▶ Robuste, HV-sichere, fahrzeugtaugliche Ausführungen
- ▶ Prüfstand, Fahrversuch



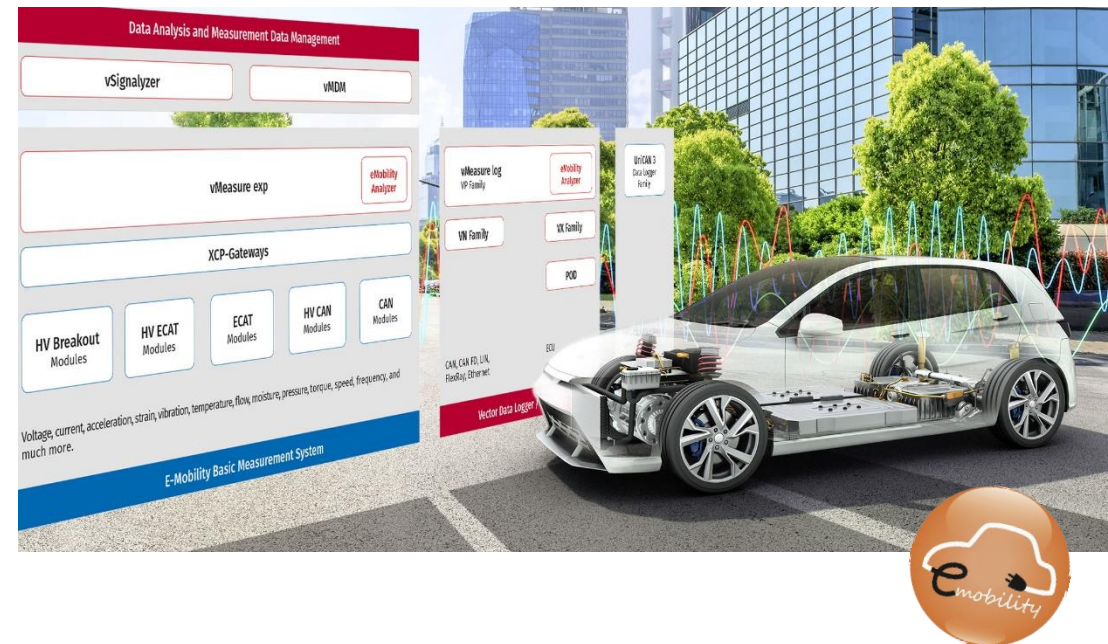
Über CSM

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/webseminare 

CSM Xplained
measurement technology