



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

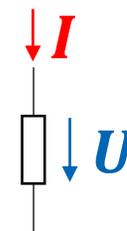
Strommessgeräte = Strommesser = Amperemeter

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?

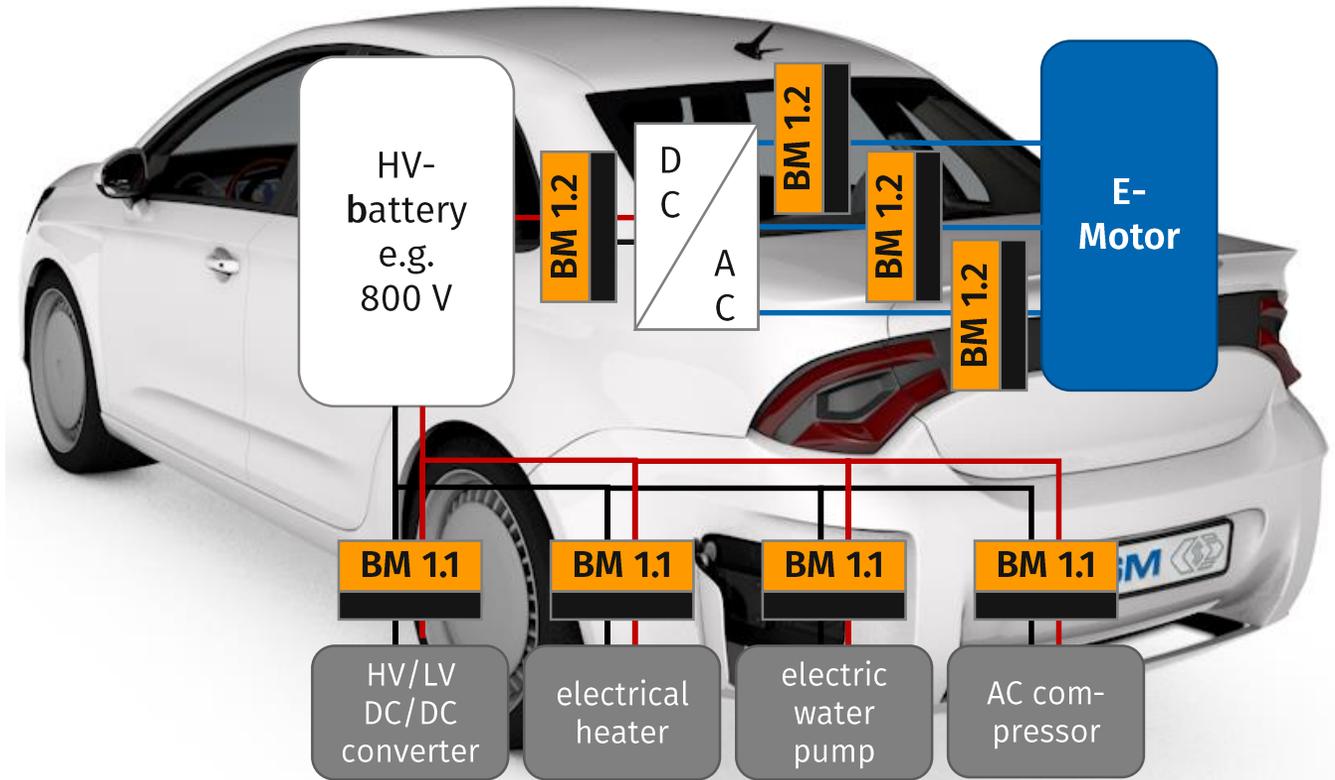
- ▶ Innenleiter
 - Große veränderliche Anteile des Stroms?
- ▶ => Strom auf dem Schirm

- ▶ 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

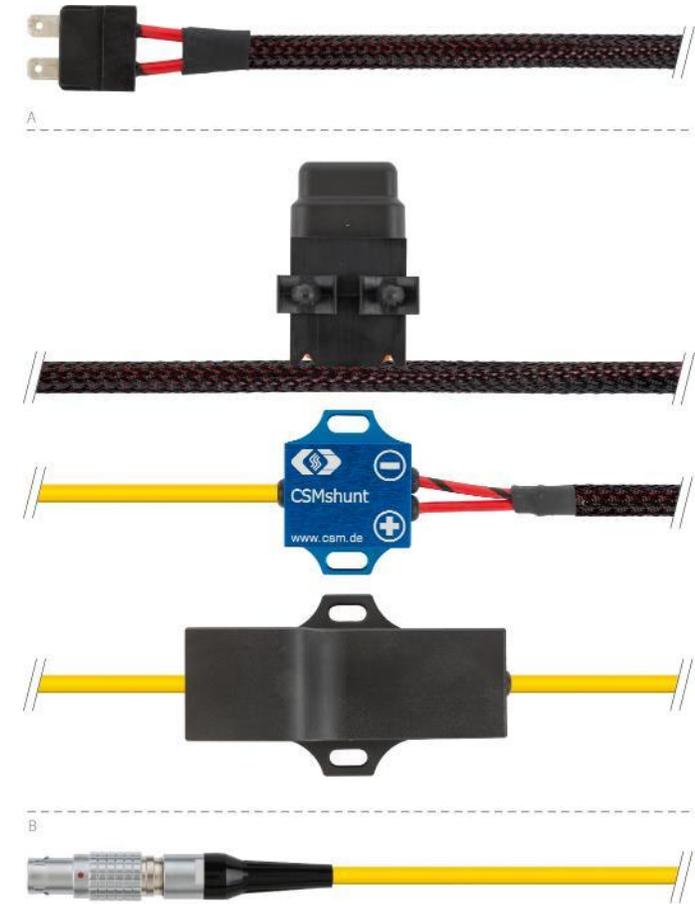
Strom ist nie nur Gleichstrom

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

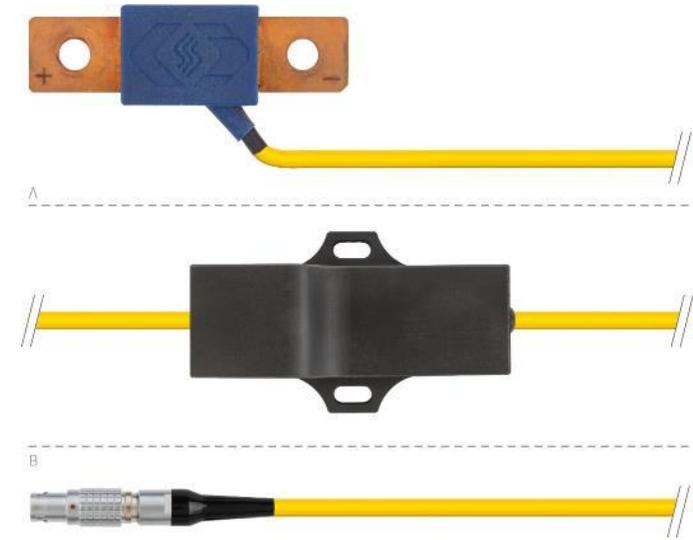
- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



WLTC – Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

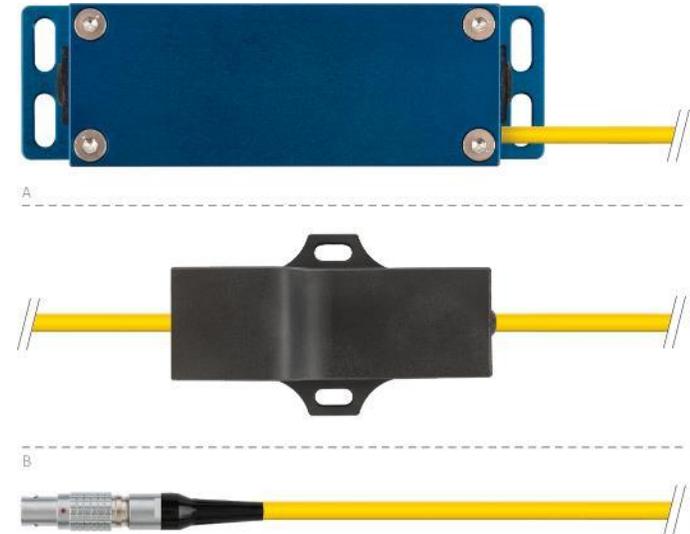
- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



WLTC – Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Cycles

Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb

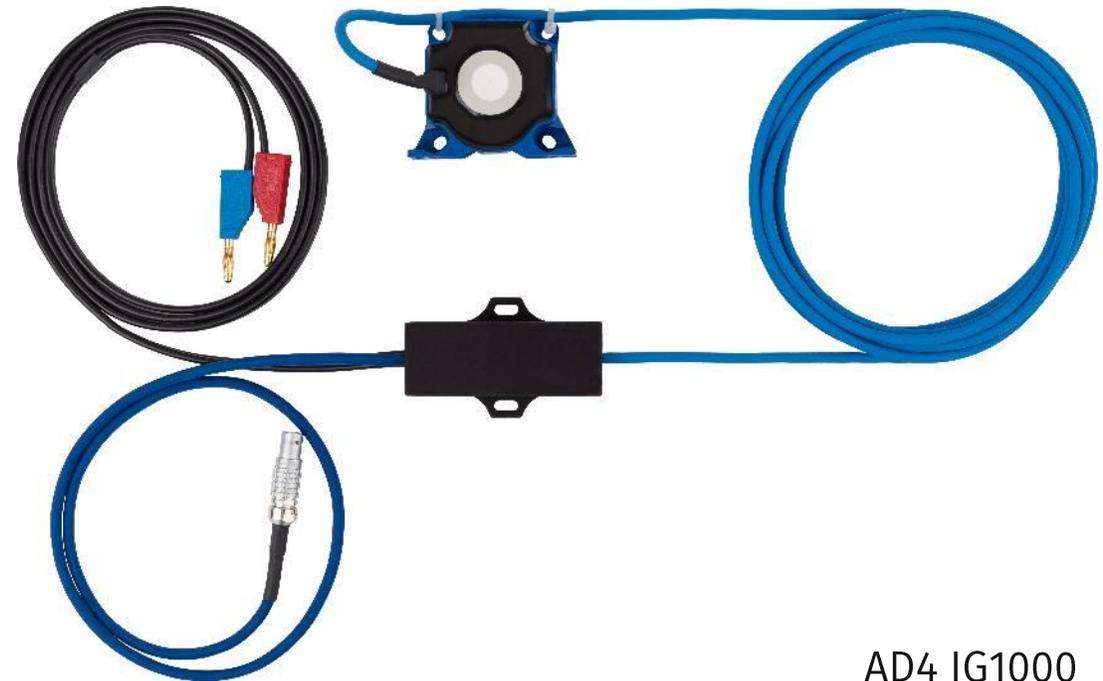
- ▶ Diesel, Vergaserkraftstoff
- ▶ ...
- ▶ Elektrische Energie E [kWh]
- ▶ Elektrische Arbeit W [kWh]
- ▶ Energie der Batterie $E = Q * U$
- ▶ $I(t) = dQ / dt$
 - LV-Batterie $\pm 2.5 \text{ A} .. \pm 1500 \text{ A}$



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



AD4 IG1000



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

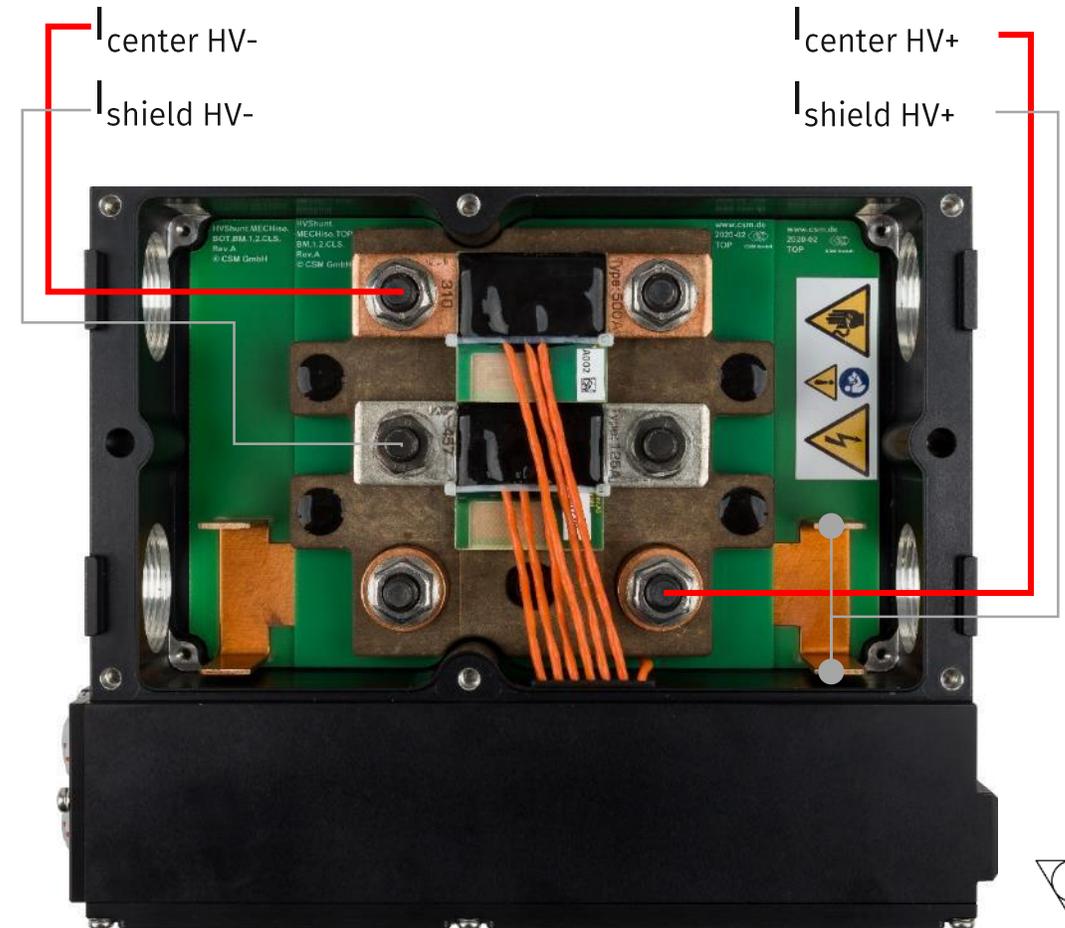


CSM HV BM 1.2+S

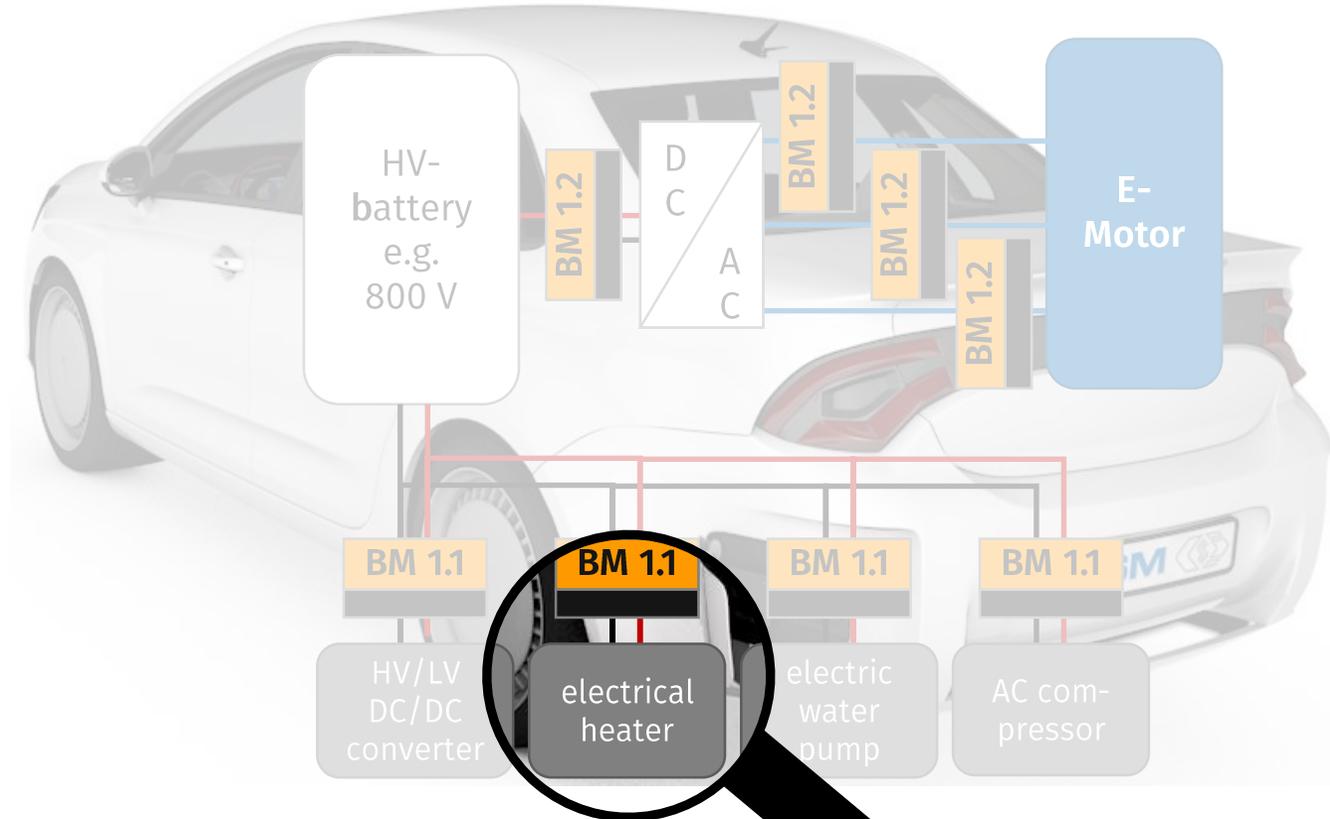
HV Breakout-Module (HV BM) zur Messung von

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

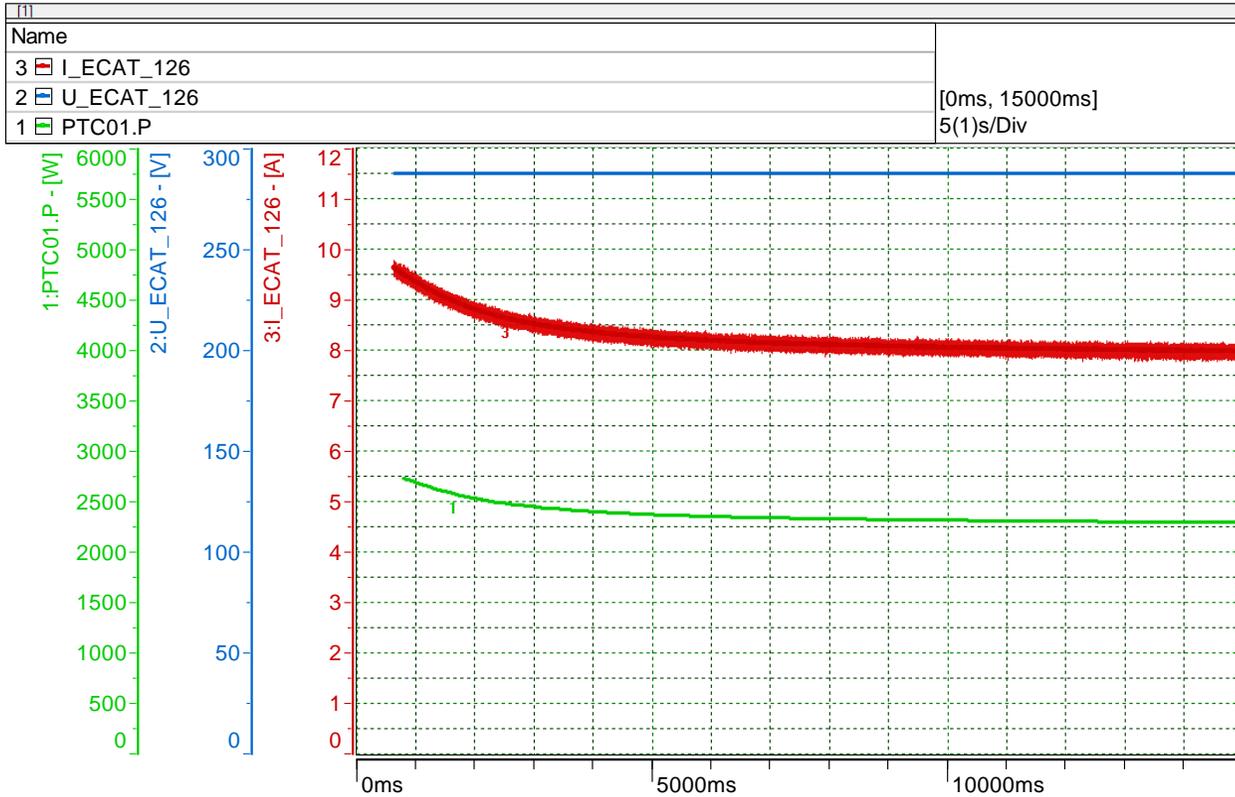
Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

Kleinverbraucher haben eingebaute PWM-Regelung

Strom ist nie nur Gleichstrom!

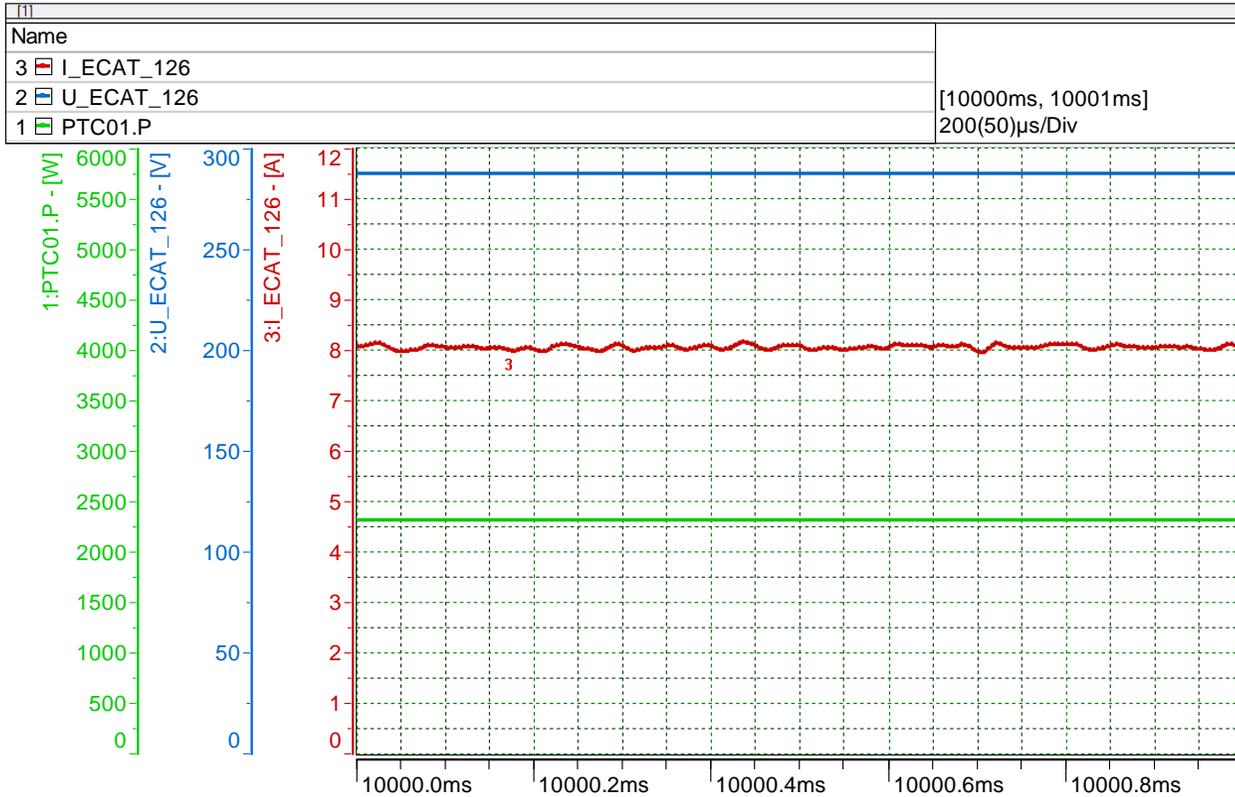
Strom hat Wechselanteile.

PTC-Heizer



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

PTC-Heizer

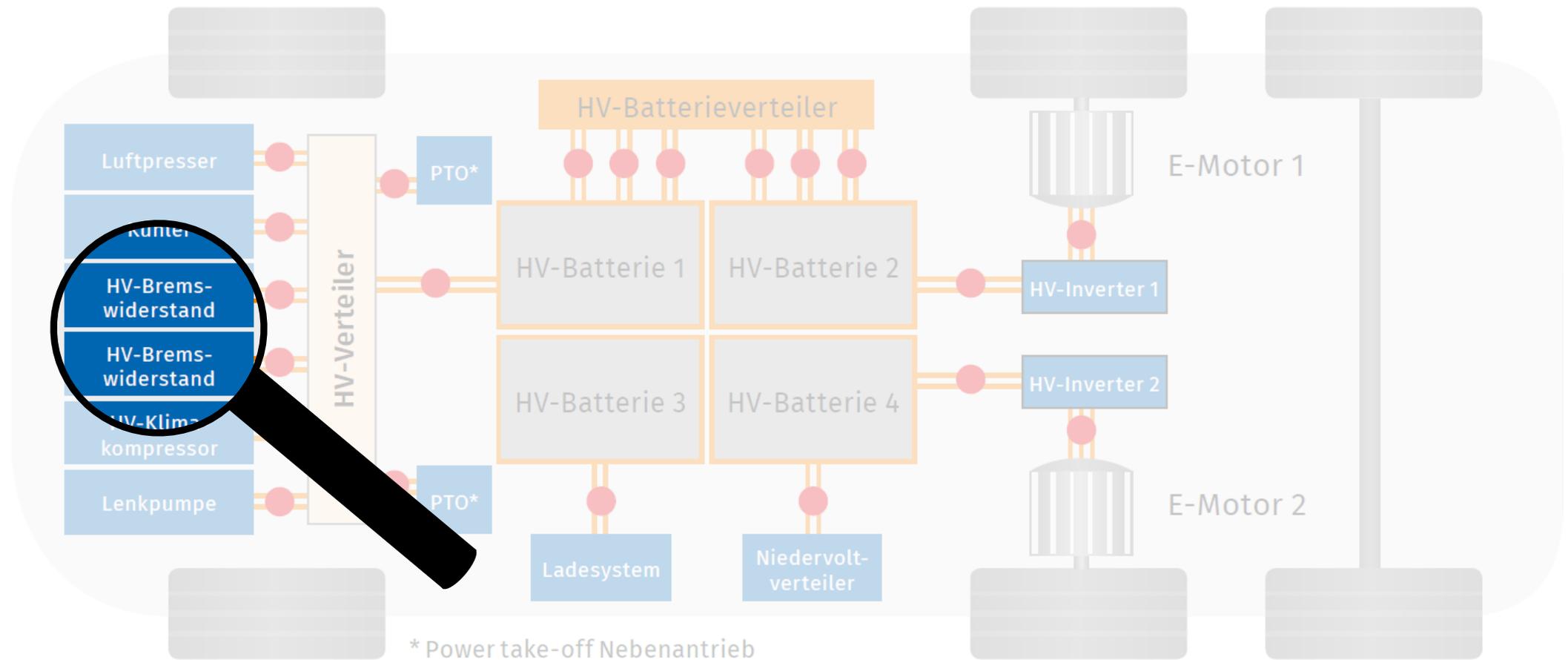


Heizleistung ist PWM-geregelt

Gut dimensionierter Pufferkondensator

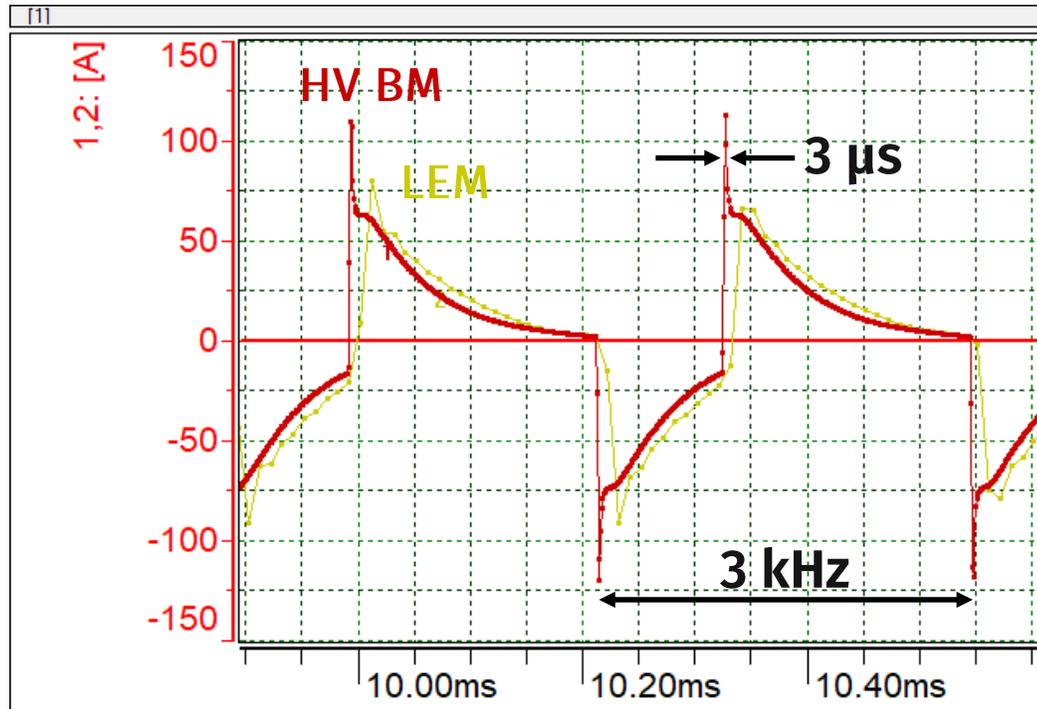
- ▶ Wenig Rückwirkung auf die Versorgungsspannung
- ▶ Wenig Welligkeit bei der Stromaufnahme

Nutzfahrzeug, HV-Bordnetz





Bremswiderstand, Messung des Schirmstroms



Gemessene, maximale Schirmströme:

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

PWM-geregelte Bremsleistung

3 kHz Grundfrequenz

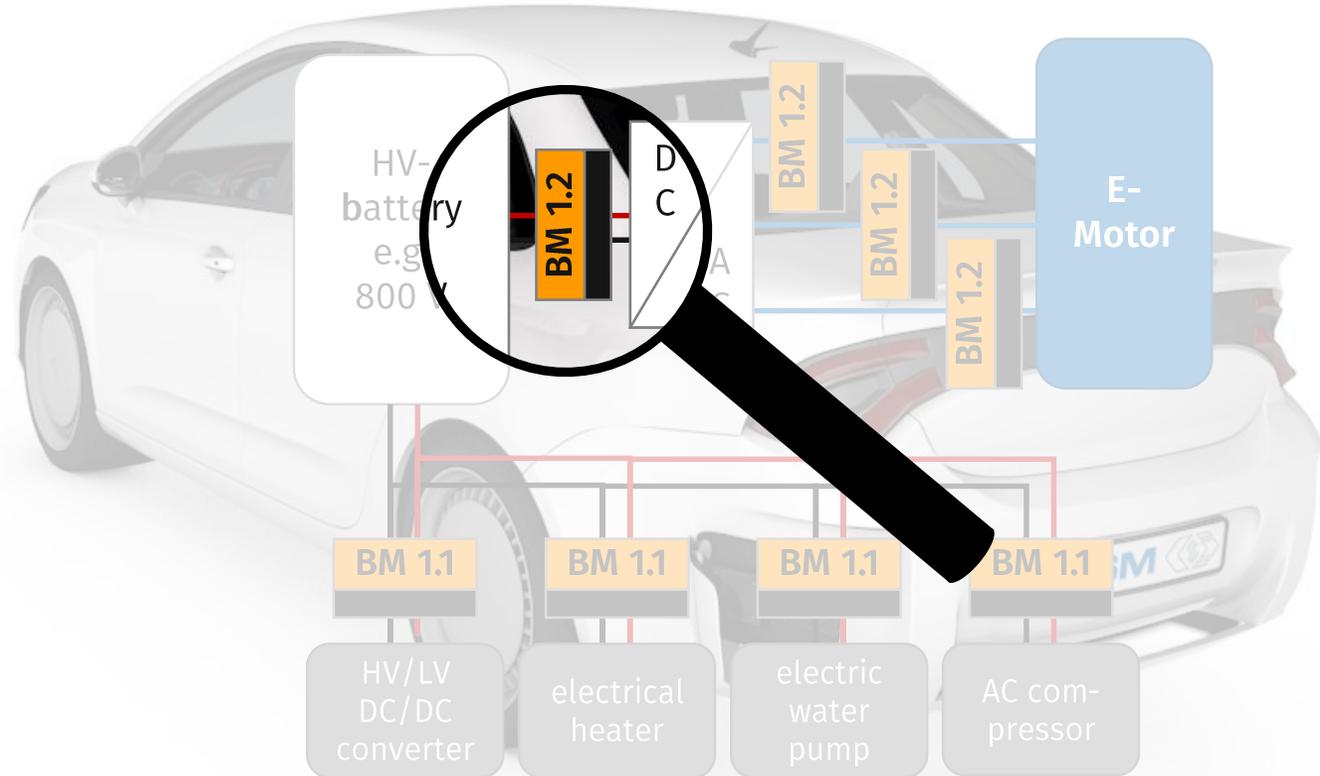
HV BM

- ▶ $f_{3dB} > 300$ 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

Elektrischer Strom in der Elektromobilität



HV-Batterie speist Verbraucher

- ▶ Inverter -> E-Maschine
- ▶ Kleinverbraucher

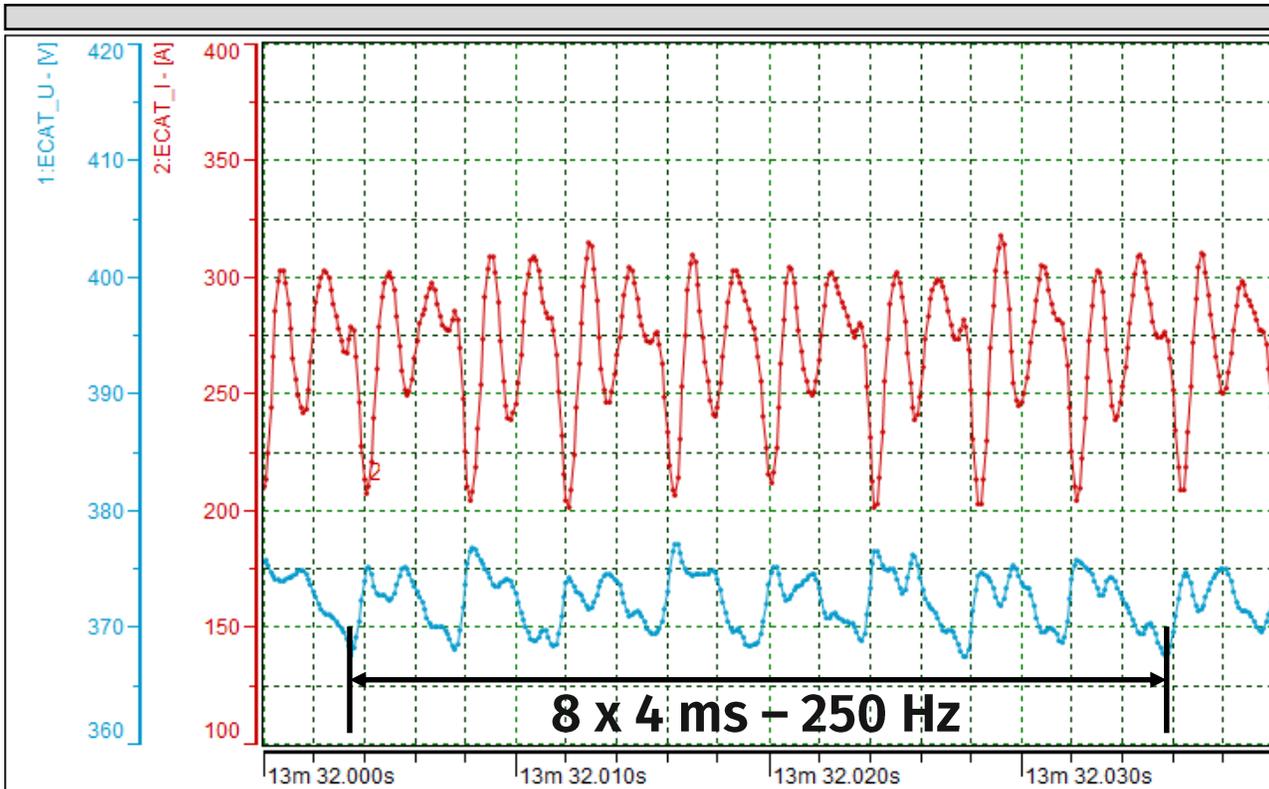
Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

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

▶ $I_{\text{eff}} = 271 \text{ A}$

▶ $I_{\text{min}} = 203 \text{ A}$

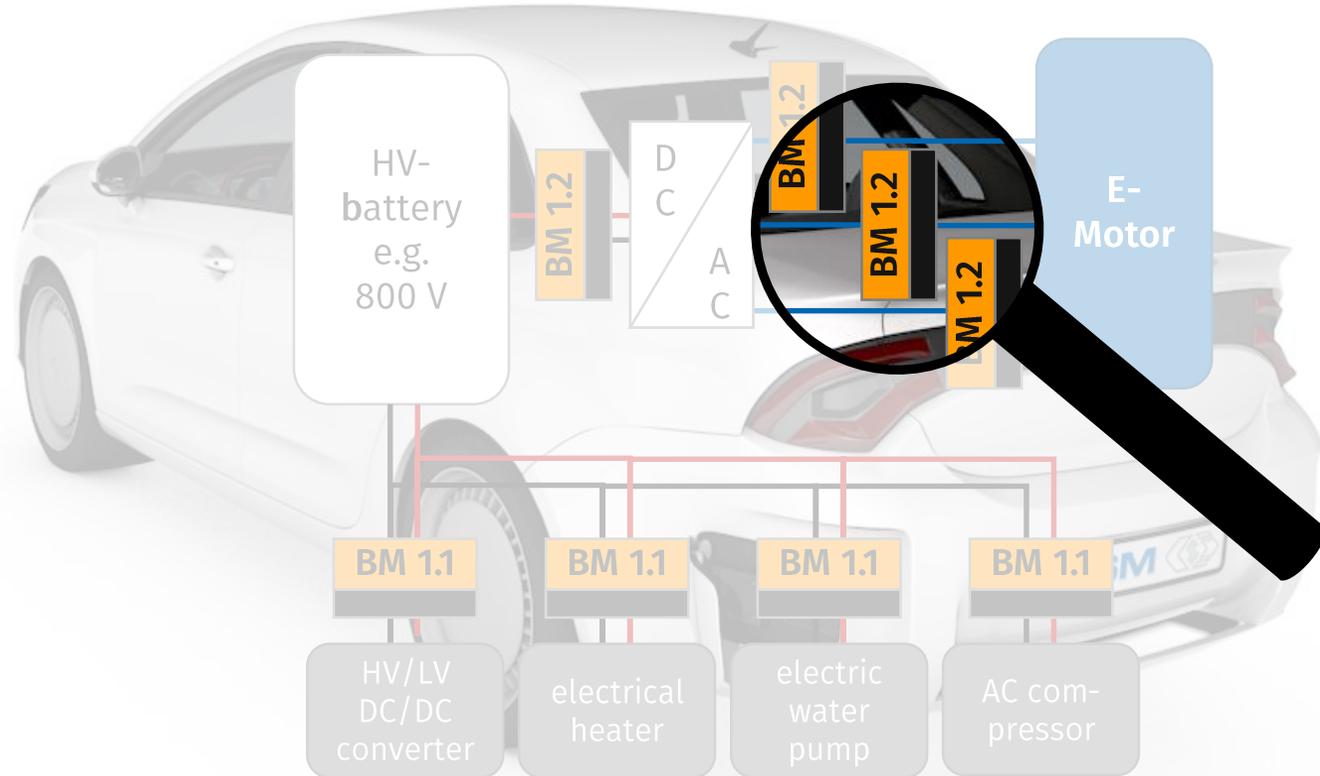
▶ $I_{\text{max}} = 312 \text{ A}$

▶ $\sigma_I = 27.6 \text{ A}$

▶ $U_{\text{eff}} = 372 \text{ V}$

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

Elektrischer Strom in der Elektromobilität



HV-Batterie speist Verbraucher

- ▶ Inverter -> E-Maschine
- ▶ Kleinverbraucher

Strom ergibt sich aus PWM-geregelter Spannung

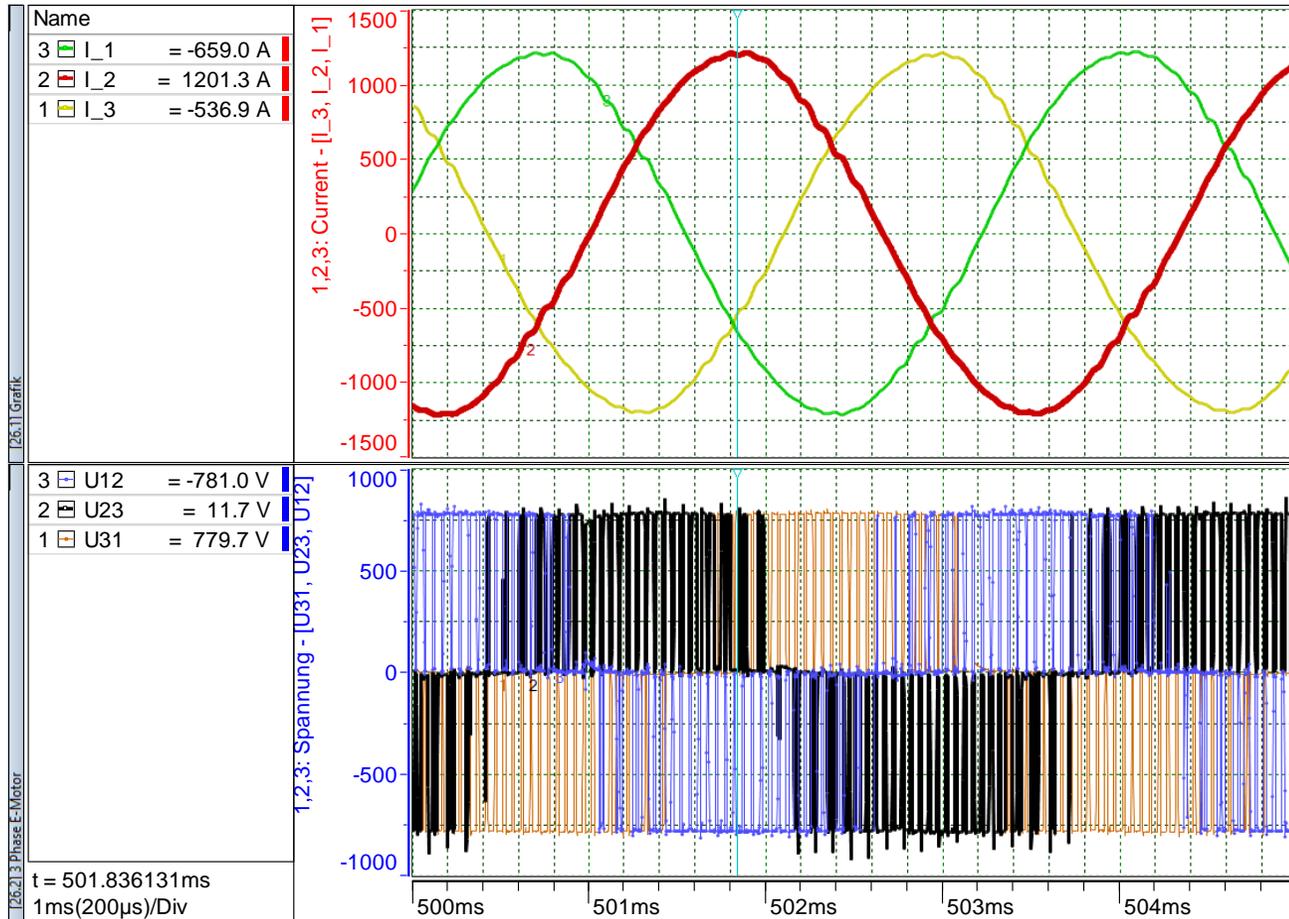
Kleinverbraucher haben eingebaute PWM-Regelung

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

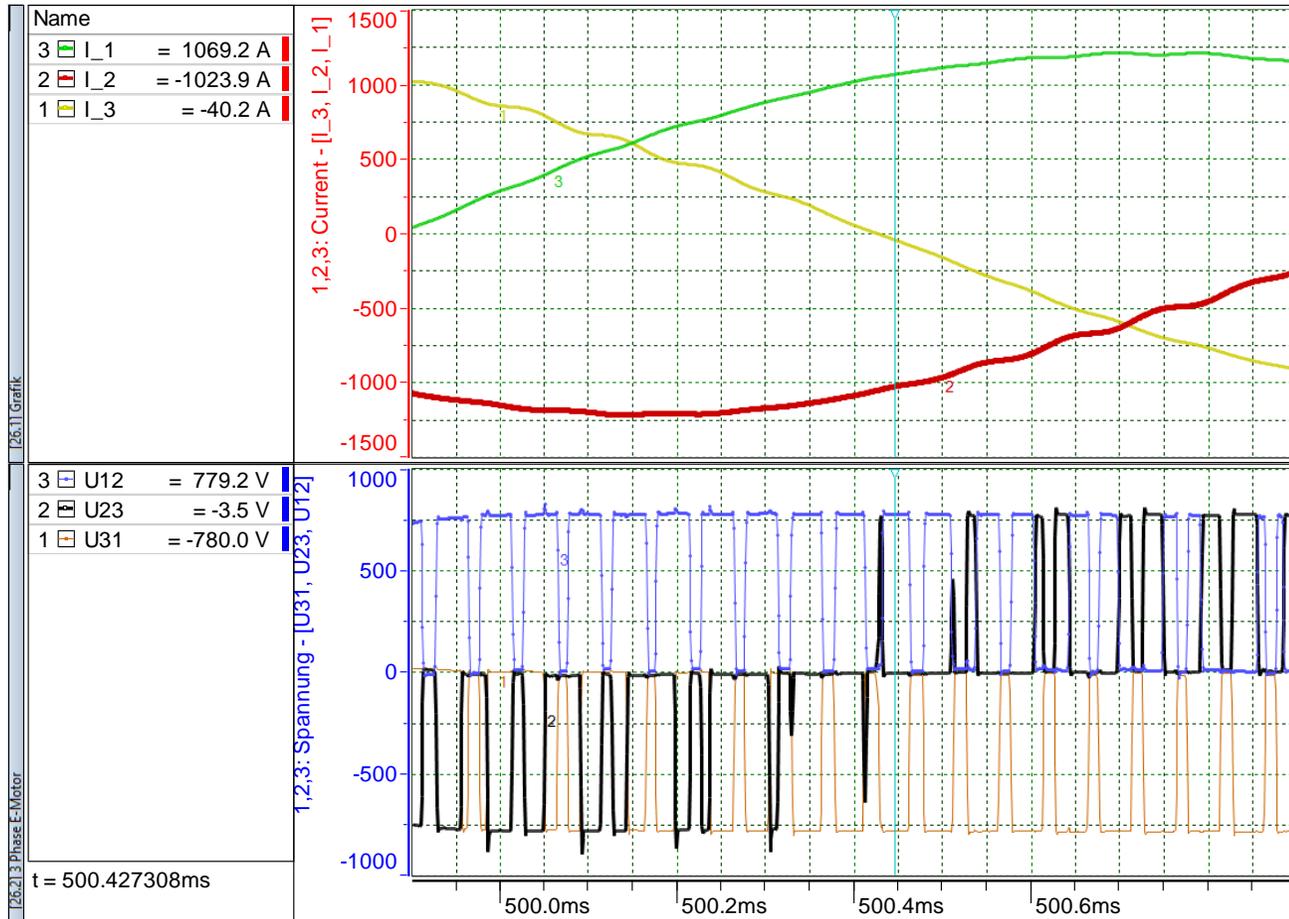


- ▶ Motorströme @ 300 Hz (3,3 ms)
- ▶ Synchronmaschine
- ▶ 3 Polpaare
- ▶ 6000 U/min

- ▶ PWM und Inverter sichtbar

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

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

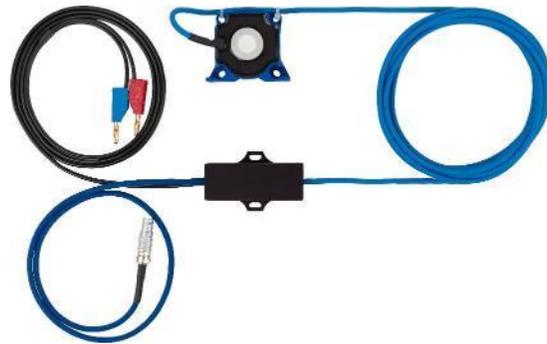
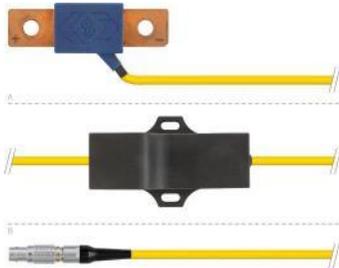


- ▶ PWM @ 20 kHz (50 μs)
- ▶ U_{23} wird im Bild invertiert

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

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



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

www.csm.de/webseminare 

CSM Xplained
measurement technology