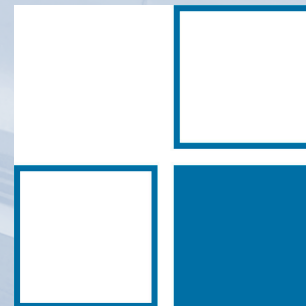


Prüfequipment für Ladeeinrichtungen für die Elektromobilität

319. PTB-Seminar

Jannes Langemann, Michael Blaž, Lingxiang Li und Christoph Leicht
AG 2.34, Physikalisch-Technische Bundesanstalt



Gliederung

- Motivation mit der Beschleunigung des Aufbaus von Ladeinfrastruktur
- Prüfung von AC-Ladeeinrichtungen
- Prüfung von DC-High-Power-Charger
- Reale Messungen vor Ort
- Zusammenfassung





Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut

Unser Leitbild

Die PTB ist das nationale Metrologieinstitut

Als Teil des gesetzlichen Messwesens
und der Qualitätsinfrastruktur
setzen wir zuverlässige und verbindliche Maßstäbe.

Wir sorgen dafür, dass Menschen und Organisationen
Messungen vertrauen können.

Damit leisten wir einen grundlegenden Beitrag
für unsere Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft
und Umwelt.

Jannes Langemann ist Teil des PTB-Teams, das bei E-Autos den Verbraucherschutz im Blick hat. Schon lange ist es
eine gesetzliche Aufgabe der PTB, bei Zapfsäulen dafür zu sorgen, dass die Kunden nur das bezahlen, was sie auch
bekommen haben. Genauso wichtig ist das beim Laden eines E-Autos: Die PTB sorgt dafür, dass die Abrechnung
verlässlich und nachvollziehbar ist.

Quelle: PTB

Prüfung von AC-Ladeeinrichtungen

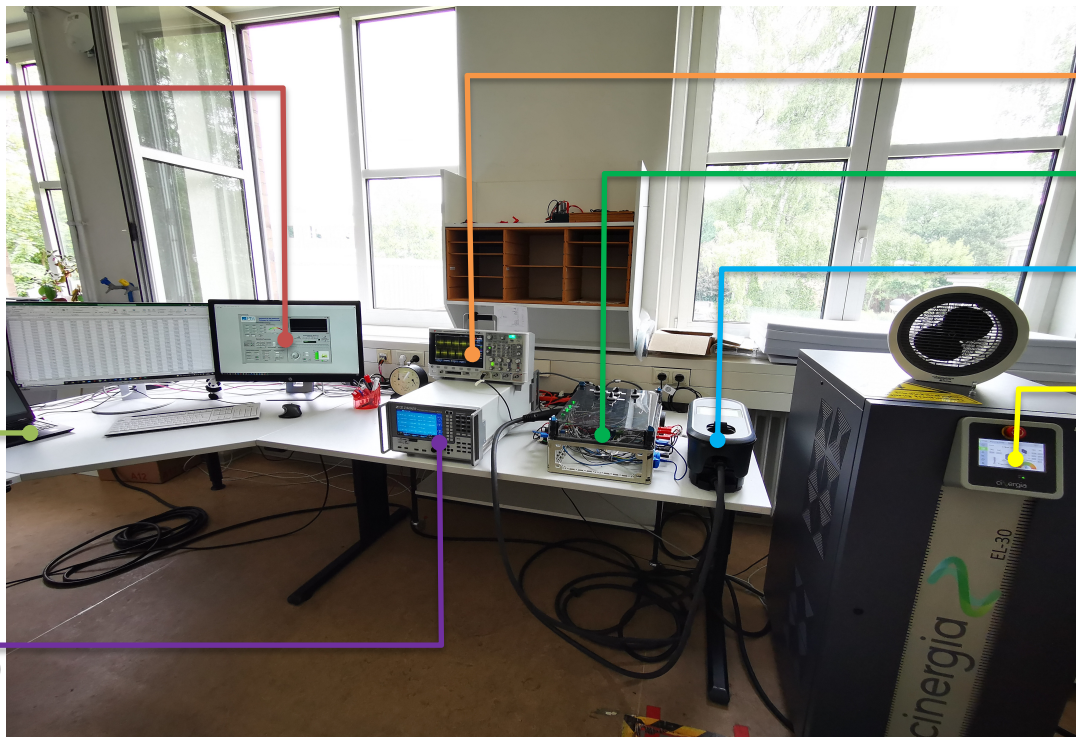


Prüfung von AC-Ladeeinrichtungen

LabVIEW-
Messprogramm

Computer

Rückgeführtes
Energiesmessgerät
(Leistungsanalysator)



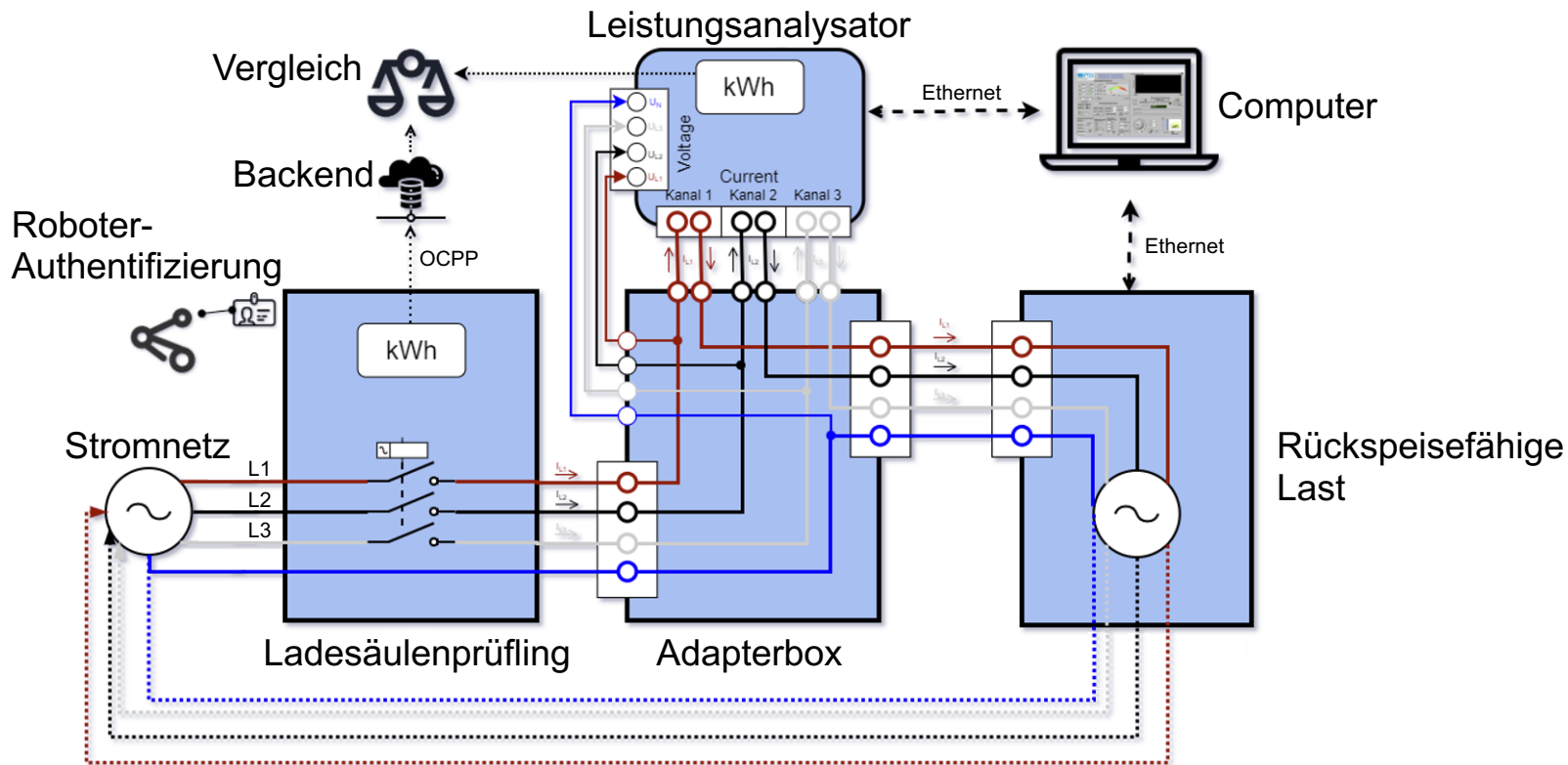
Oszilloskop

Adapterbox

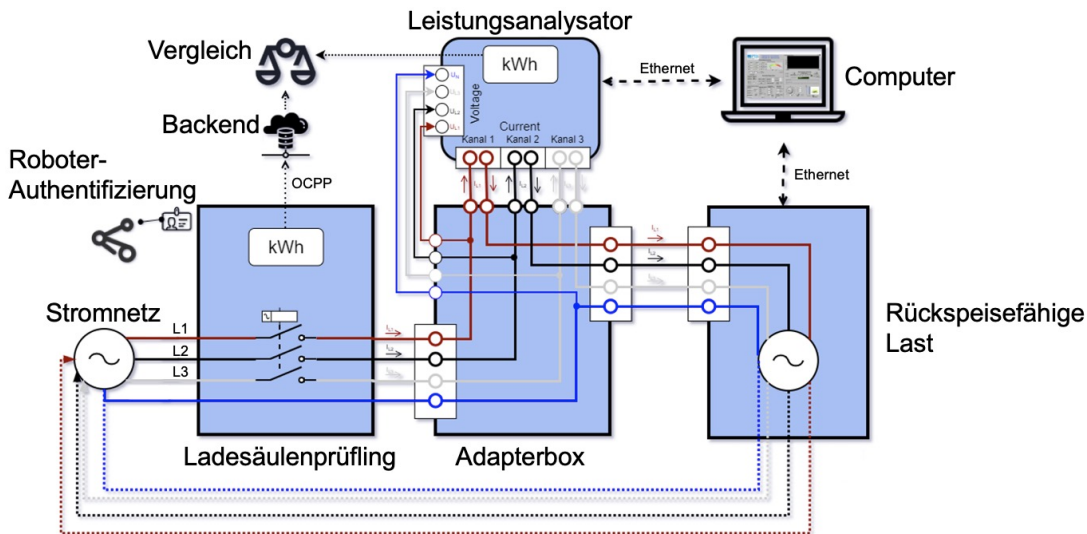
Ladesäulenprüfling

Rückspeisefähige,
elektronische Last

Prüfung von AC-Ladeeinrichtungen



Prüfung von DC-High Power Charger (HPC)



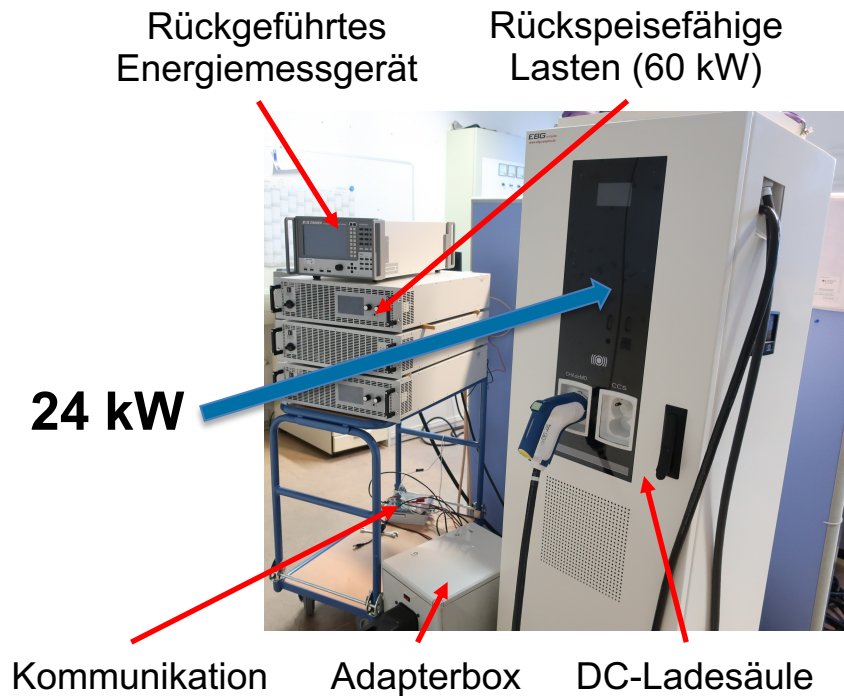
Für DC-Ladeeinrichtungen
übernehmbar?

- Anderes Kommunikationsprotokoll
- Größere Leistungen



Detailliertere Betrachtung notwendig

Prüfung von DC-HPC - Realleistung



Prüfen mit Realleistung:

- Prüfung in beliebigen Lastpunkten notwendig
 - Kabelkompensation
 - Nicht bewertete Energiemessung in der Ladeeinrichtung



Nutzung rückspeisefähiger elektronischer Lasten






Prüfung von DC-HPC - Realleistung



360 kW





Umsetzung bei:

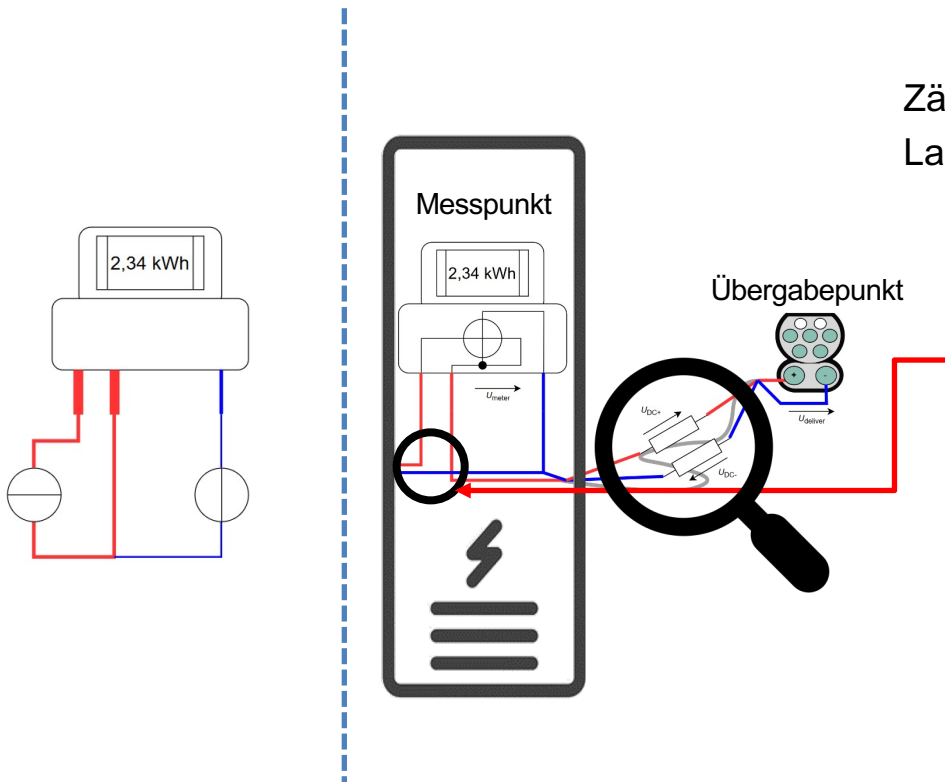
- Geringer Realleistung 
- Höherer Realleistungen 
- Sehr hohen Realleistungen 
(Ladeleistungen von LKW im Megawatt-Bereich)



1 420 kW

-  Erweiterbarkeit begrenzt
(Parallelschaltung von 16 Geräten möglich)
-  Kosten pro kW ca. 1 000 €

Prüfung von DC-HPC - Phantomleistung



Zählerprüfung: Mit Phantomleistung

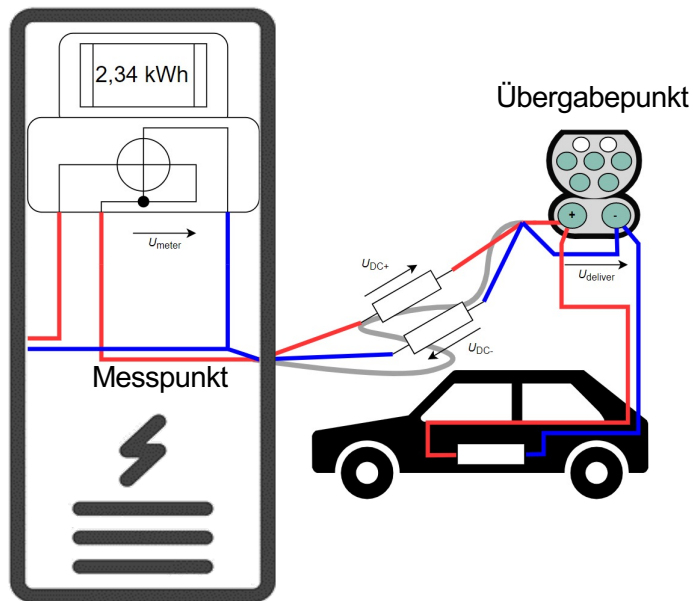
Ladeeinrichtungsprüfung: Mit Phantomleistung möglich?



Separater Anschluss in der Ladeeinrichtung
an den Zähler für die Prüfungen



Berücksichtigt nicht den Einfluss der
Komponenten hinter dem Zähler auf das
Messergebnis



Modifizierter Phantomleistungsaufbau für Ladeeinrichtungen

- Je nach Messpunkt misst der Zähler die Energie am Einbauort
- Abrechnung der Energie am Übergabepunkt:

$$E_{meter} = \int U_{meter} I_{meter} dt ,$$

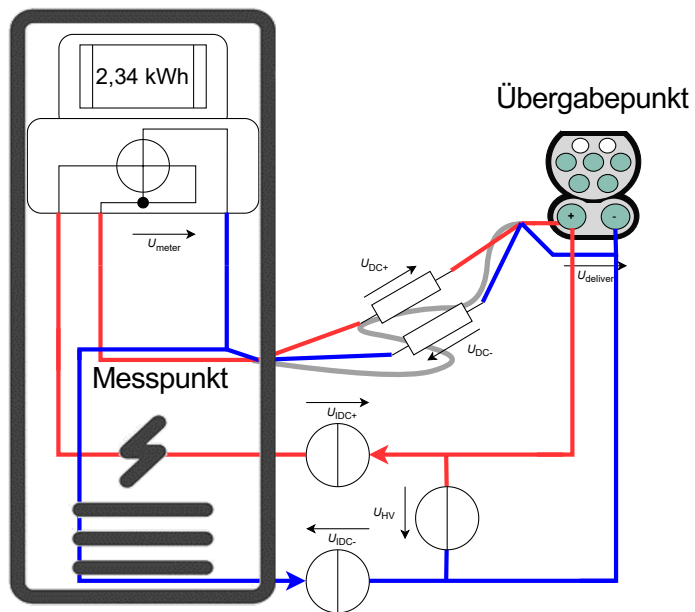
$$E_{deliver} = \int U_{deliver} I_{meter} dt .$$

- Zähler sieht zusätzlich zur Spannung am Übergabepunkt die Spannungen über den DC+ und DC- Pfad:

$$U_{meter} = U_{DC+} + U_{deliver} + U_{DC-} .$$



Berücksichtigung dieser Einflüsse der Ladeeinrichtung auf das Messergebnis



Modifizierter Phantomleistungsaufbau für Ladeeinrichtungen

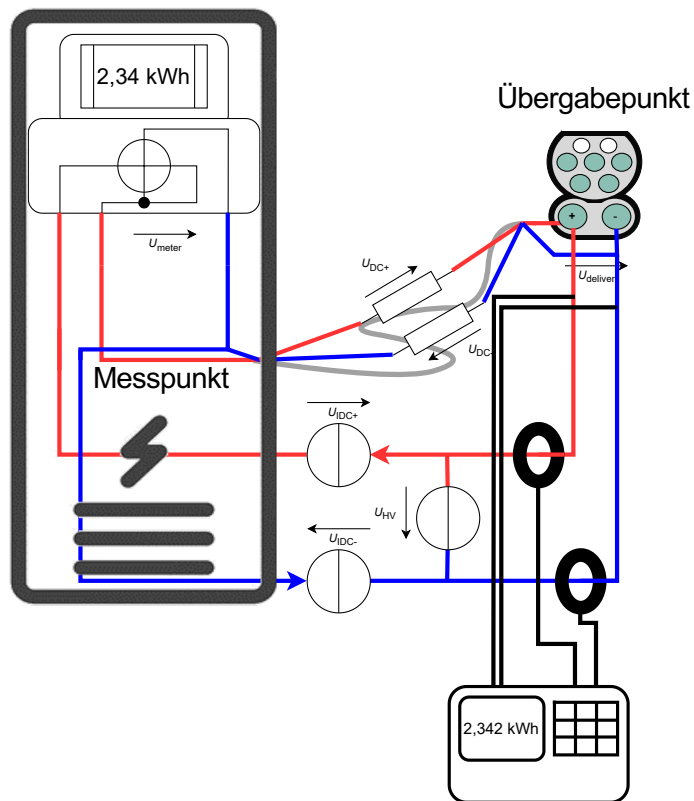
- Zwei separate Stromquellen für die Spannungsabfälle im DC+ und DC- Pfad
- Spannungsquelle für die Spannung am Übergabepunkt :

$$U_{meter} = U_{DC+} + U_{HV} + U_{DC-}$$



Zähler sieht den Einfluss der Komponenten zwischen Zähler und Abgabepunkt

Prüfung von DC-HPC - Phantomleistung



Modifizierter Phantomleistungsaufbau für Ladeeinrichtungen

- Zwei separate Stromquellen für die Spannungsabfälle im DC+ und DC- Pfad
- Hochspannungsquelle für die Spannung am Übergabepunkt :

$$U_{meter} = U_{DC+} + U_{HV} + U_{DC-}$$

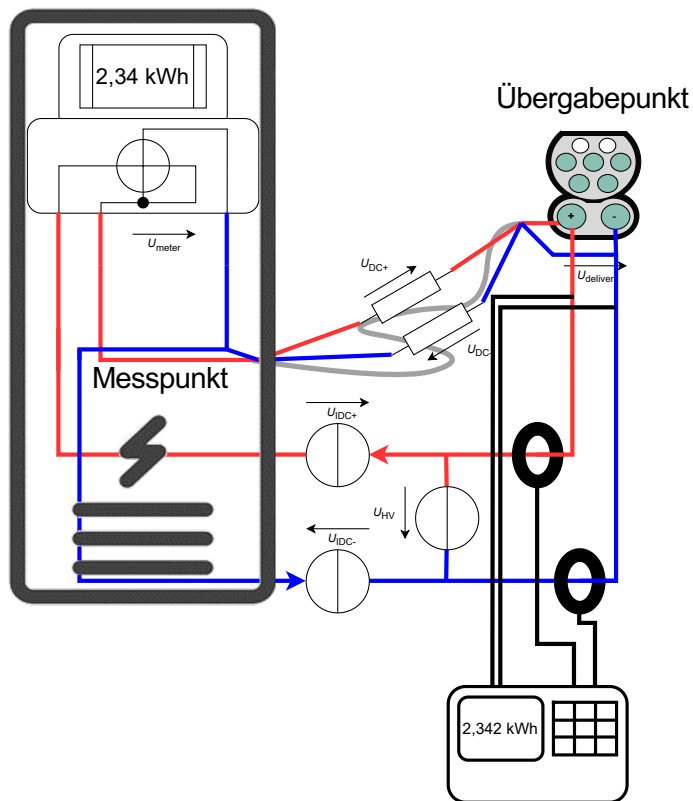
- ➡ Zähler sieht den Einfluss der Komponenten zwischen Zähler und Abgabepunkt
- ➡ Referenzmessgerät misst direkt am Übergabepunkt

Einfluss des Aufbaus auf das Messergebnis

- Unterschiedliche Quellenströme von 1% zueinander führen zu einer Abweichung in der Energiemessung von 0,034%

$$F = \frac{(I_{DC-} - I_{DC+}) R_{DC-}}{U_{Delivered}}$$

Prüfung von DC-HPC - Phantomleistung



Anforderungen an die Ladeeinrichtung

- Anschlussmöglichkeit der Stromquellen vor dem Gleichstromzähler
- Starten des Betriebszustands „Laden“ muss ohne Leistungselektronik und mit Eingriffen in die Ladeeinrichtung möglich sein
- Ggf. Sicherstellen der Kühlung des Ladekabels

Prüfung von DC-HPC - Phantomleistung

DUT

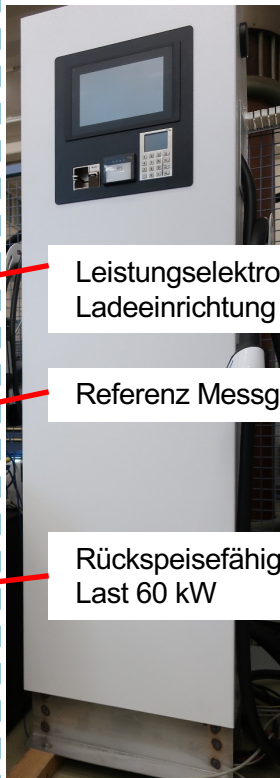
Real-
leistung



Leistungselektronik der
Ladeeinrichtung 30 kW

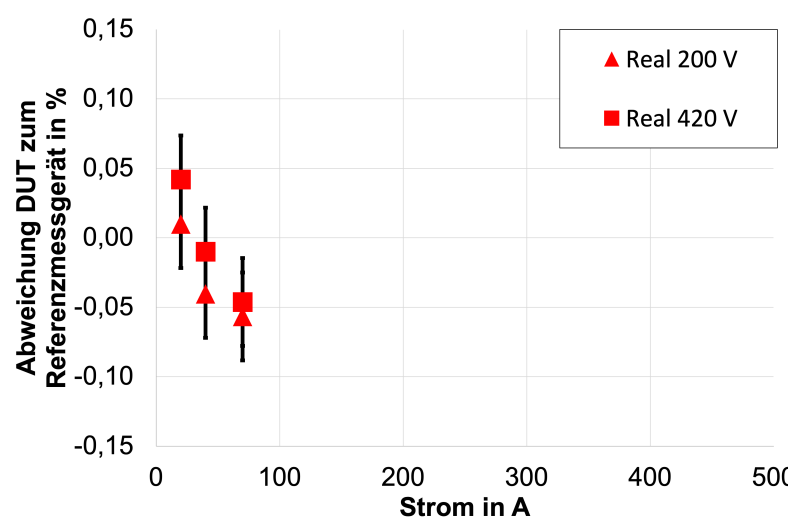
Referenz Messgerät

Rückspeisefähige
Last 60 kW



Vergleich der Prüfung mit Real- und Phantomleistung

- Mit Realleistung bis 30 kW (begrenzt durch Ladeeinrichtung)



Prüfung von DC-HPC - Phantomleistung

DUT

Real-
leistung



Referenz Messgerät

Spannungsquelle
1000 V

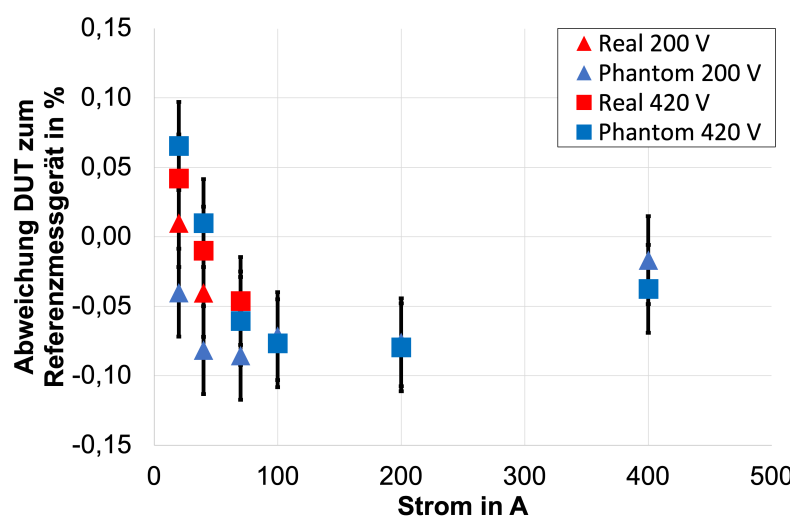
Stromquelle 900 A

Phantom-
leistung



Vergleich der Prüfung mit Real- und Phantomleistung

- Mit Realleistung bis 30 kW (begrenzt durch Ladeeinrichtung)
- Mit Phantomleistung bis 400 A, entspricht 168 kW (begrenzt durch Stromtragfähigkeit des Ladekabels)
- Begrenzung Phantomaufbau: 900 A, 1000 V



Ergebnisse liegen im selben Bereich



Erzeugung von Oberschwingungen
durch Wechselrichter



Zunahme volatiler,
dezentraler Lasten

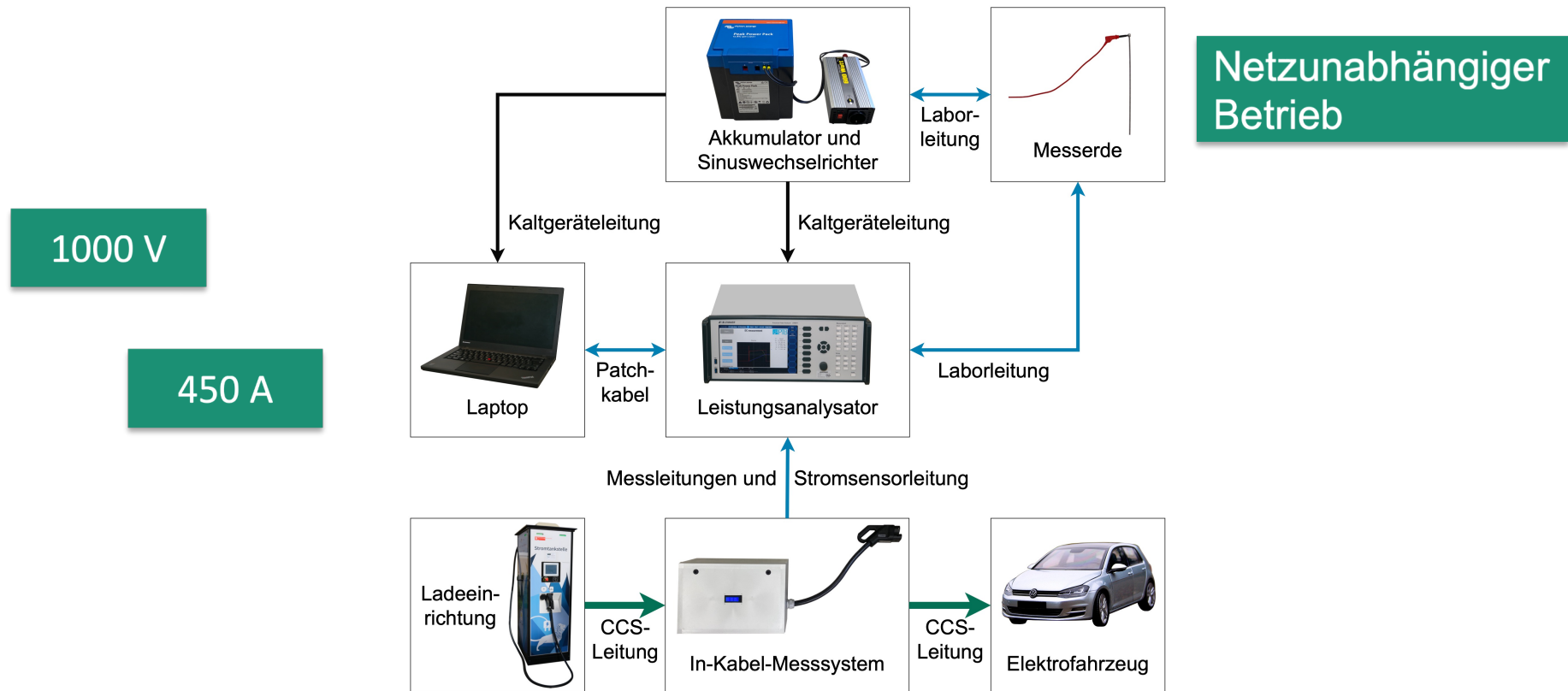


Validierung der Konformitätsbewertungsprüfungen (Modul B)



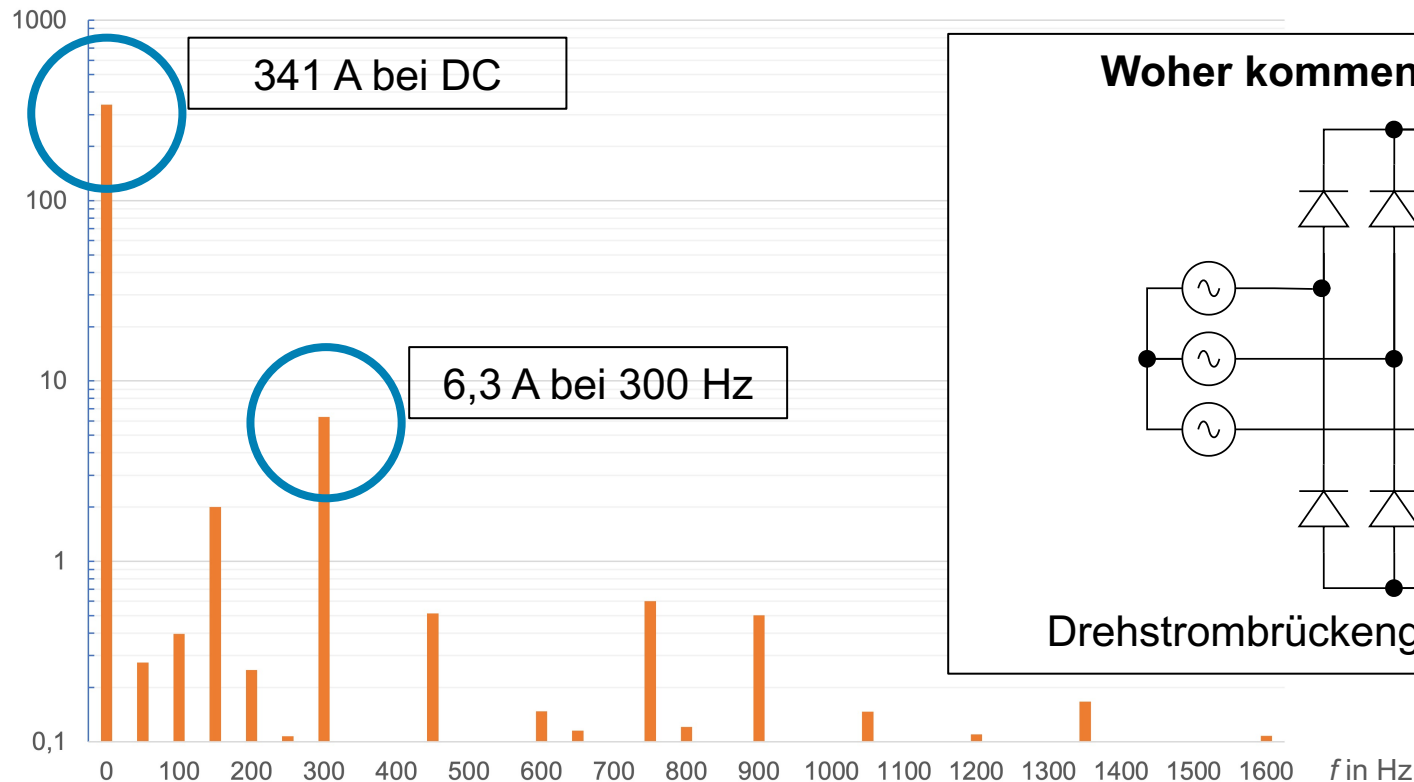
Verifizierungen der Messrichtigkeit nach einigen Jahren im Feld

Reale Messungen vor Ort - Messsystem

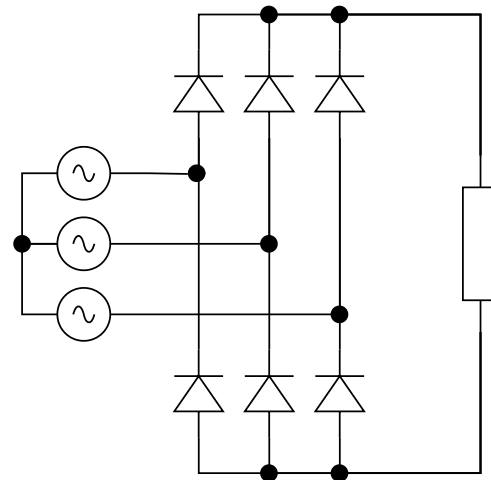


Reale Messungen vor Ort - Frequenzen

I in A Stromeffektivwerte in Abhängigkeit von der Frequenz



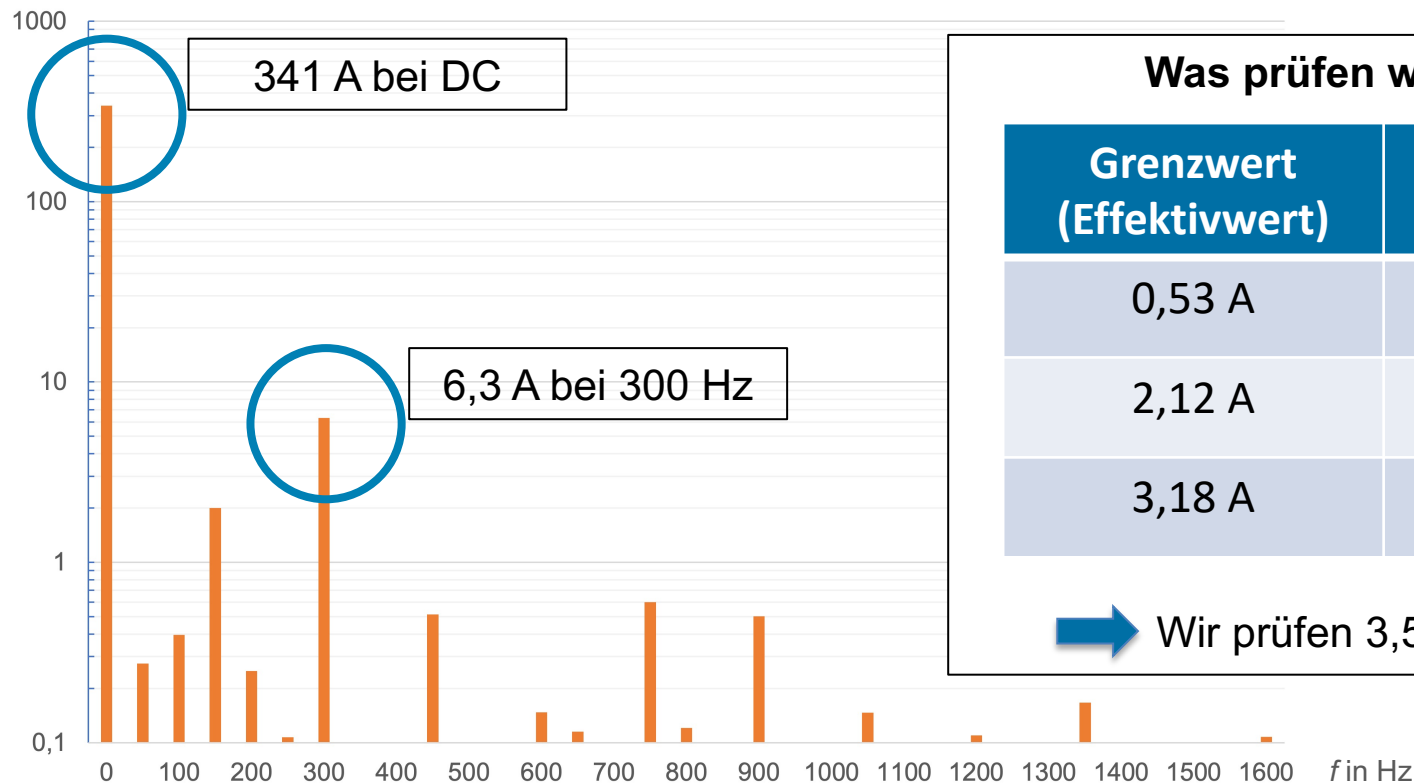
Woher kommen die 300 Hz?



Drehstrombrückengleichrichter (B6)

Reale Messungen vor Ort - Frequenzen

I in A Stromeffektivwerte in Abhängigkeit von der Frequenz

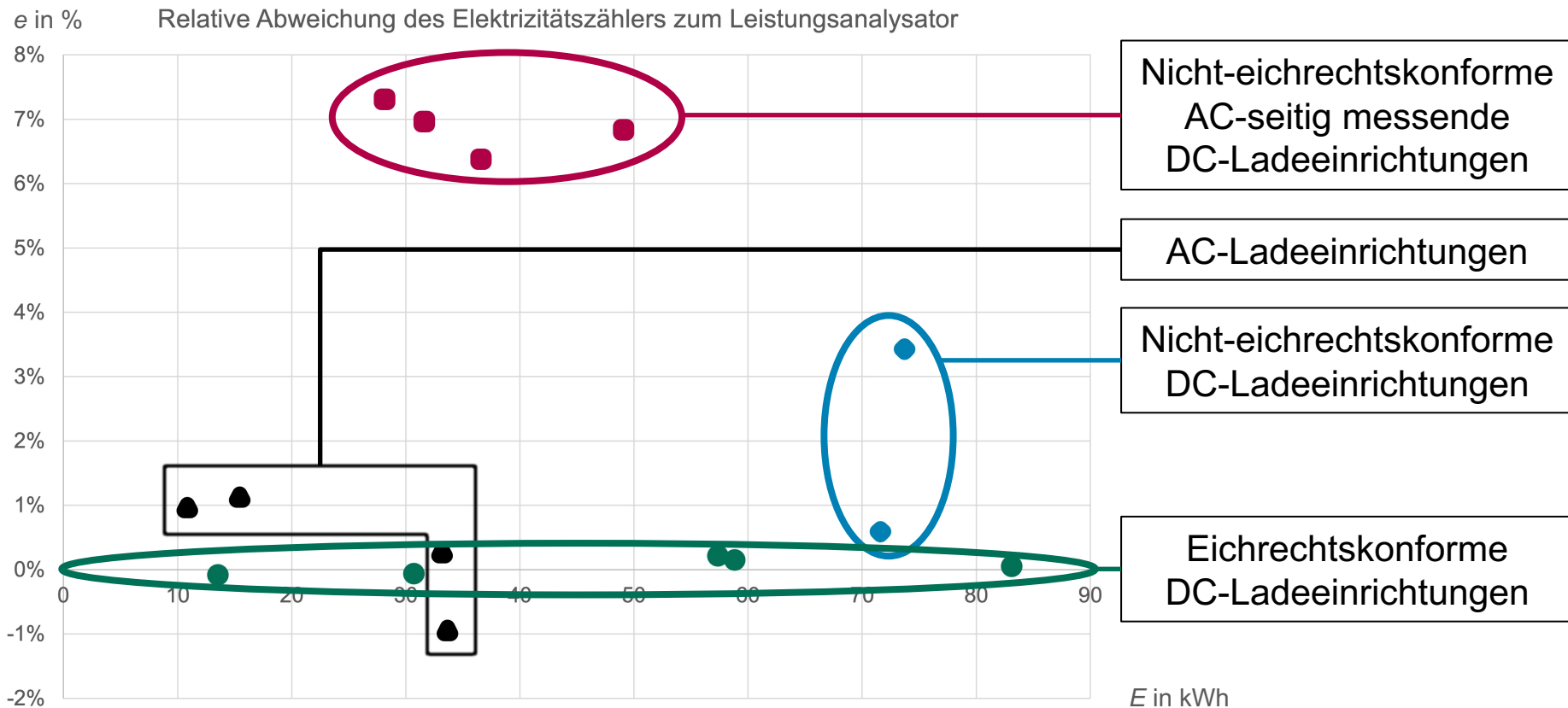


Was prüfen wir aktuell?

Grenzwert (Effektivwert)	Frequenz
0,53 A	unter 10 Hz
2,12 A	unter 5 kHz
3,18 A	unter 150 kHz

➡ Wir prüfen 3,5 A (Effektivwert)

Reale Messungen vor Ort - Abweichungen



Prüfequipment für Ladeeinrichtungen

- Automatisierte metrologische Prüfungen von AC-Ladeeinrichtungen mit Realleistung
- Prüfungen von DC-Ladeeinrichtungen
 - Für geringe Leistungen mit Realleistung
 - Für hohe Leistungen mit Phantomleistung und einem speziellen Aufbau
 - Vergleichbarkeit der Prüfung mit Realleistung und mit Phantomleistung gegeben
- Mobile Messtechnik für Messungen vor Ort
 - Validierung der Konformitätsbewertungsprüfungen vor allem bezüglich Frequenzen
 - Verifizierungen der Messrichtigkeit nach einigen Jahren im Feld



Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Jannes Langemann

Telefon: 0531 592-2342

E-Mail: jannes.langemann@ptb.de

www.ptb.de

Stand: 05/22