



Rolf Janssen GmbH  
Elektrotechnische Werke



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE  
EMDEN·LEER

## Kolloquium

Fremdfeldbeeinflussung auf Messstromwandler in der Niederspannung

Oliver-Luca Schmidt

Rolf Janssen GmbH Elektrotechnische Werke

Betreuung:  
Dr.-Ing. Sandro Günter  
Dipl.-Ing. Rainer Ludewig



## Agenda

- ▶ Einleitung
- ▶ Grundlagen der Arbeit
- ▶ Messergebnisse 3000 A
- ▶ Messergebnisse 4000 A
- ▶ Definition der Vergleichsmetriken
- ▶ Gesamtvergleich und Effizienz

## Motivation

### Herausforderung: kompakte Bauweise

- ▶ Minimale Abstände zwischen Schienen und Wandlern
- ▶ **Folge:** Messabweichungen durch Fremdfelder
- ▶ **L2 kritisch:** max. Fremdfeld  $\Rightarrow$  Sättigung  $\Rightarrow$  Untererfassung
- ▶ **Ziel:** robuste, kosteneffiziente Lösung



## Problemstellung – Messabweichung

**Parameter:** Übersetzungsfehler  $\varepsilon$  bei 100 %  $I_{pn}$   
erlaubt  $\pm 1\%$

**Grenzwert:** Klasse 1

### Vergleich bei 4000 A Primärstrom – Symmetrische Last



**Referenz (Sollwert) Kl. 0,2S**

L1  $-0,005\%$

**L2**  $0,047\%$

L3  $-0,012\%$

**Prüfling (Beeinflusst) Kl. 1,0**

L1  $\approx -0,704\%$

**L2**  $\approx -3,238\%$

L3  $\approx -1,230\%$



## Problemstellung – Wirtschaftliche Relevanz

### Analyse der Abweichung

- ▶ Messdifferenz / Untererfassung Phase L2  $\Delta I \approx 130 \text{ A}$
- ▶ Relative Abweichung  $\approx -3,25 \%$
- ▶ Kritisch für Netzschatz und Verrechnung

### Potenzieller Abrechnungsfehler (Beispielrechnung)

$$\Delta E = U_{L-N} \cdot \Delta I_{L2} \cdot \cos \varphi \cdot t$$

$$\Delta I_{L2} = 130 \text{ A bei } 230 \text{ V (L-N)}$$

× Leistungsfaktor ( $\cos \varphi = 0,9$ )

× Dauerlast (8760 h/a)

× Strompreis (0,20 €/kWh)

---

≈ 47 000 € / Jahr



## Zielsetzung der Arbeit

### Leitfrage der Untersuchung

*Welche Kombination aus Wandler, Geometrie und FFP hält Klasse 1 unter Fremdfeldbedingungen ein – bei minimalen Mehrkosten?*

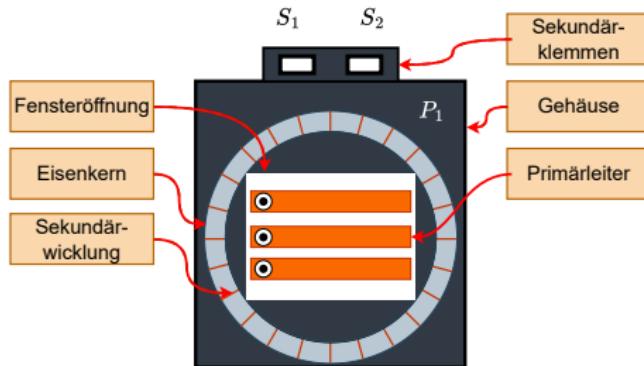
### Untersuchungsschwerpunkte

- ▶ Systematische Analyse der Fehler im Drehstromsystem (L1, L2, L3)
- ▶ Vergleich von Standardwandlern und kompensierten Spezialwandlern
- ▶ Prüfung konstruktiver Maßnahmen (Leitergeometrie / FFP)
- ▶ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Neukonstruktion

## Funktionsprinzip und Aufbau

### Aufgaben des Messstromwandlers

- ▶ Transformation hoher Primärströme ( $1\text{ A} / 5\text{ A}$ )
- ▶ Galvanische Trennung
- ▶ Bündelung des magnetischen Flusses



Prinzipieller Aufbau eines Aufsteckstromwandlers



## Physikalisches Problem: Fremdfeldeinfluss

### Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Starke Magnetfelder der Nachbarleiter koppeln ein

### Wirkung: Partielle Sättigung

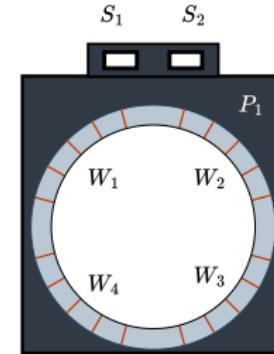
- ▶ Nutzfluss + Störfluss = Sättigung im Eisen
- ▶ Permeabilität  $\mu_r$  sinkt

**Resultat** Der Sekundärstrom sinkt, die Messung zeigt zu wenig an.

## Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

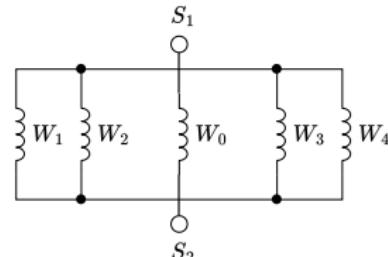
### Prinzip

- ▶ Zusatzwicklungen erzeugen Gegenfeld
- ▶ Aktive Fehlerkompensation



### Pro / Contra

- ▶ Weniger Sättigung
- ▶ **Contra:** teuer, mehr Bauraum



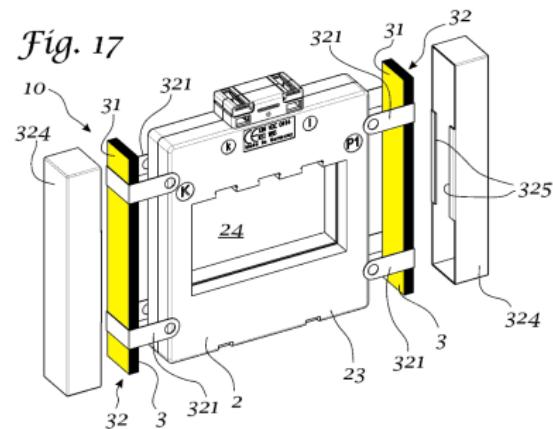
## Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

### Konstruktive Optimierung

- ▶ Gezielte Schirmung des Messkerns
- ▶ Umleitung der magnetischen Störfeldlinien

### Zielsetzung

- ▶ Einhaltung Genauigkeitsklasse 1
- ▶ Schutz vor partieller Sättigung

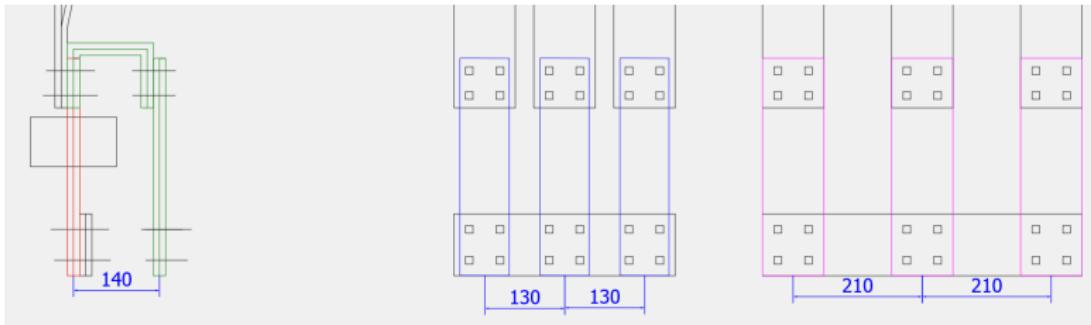


Quelle: Patent DE102021106843A1

(Redur)

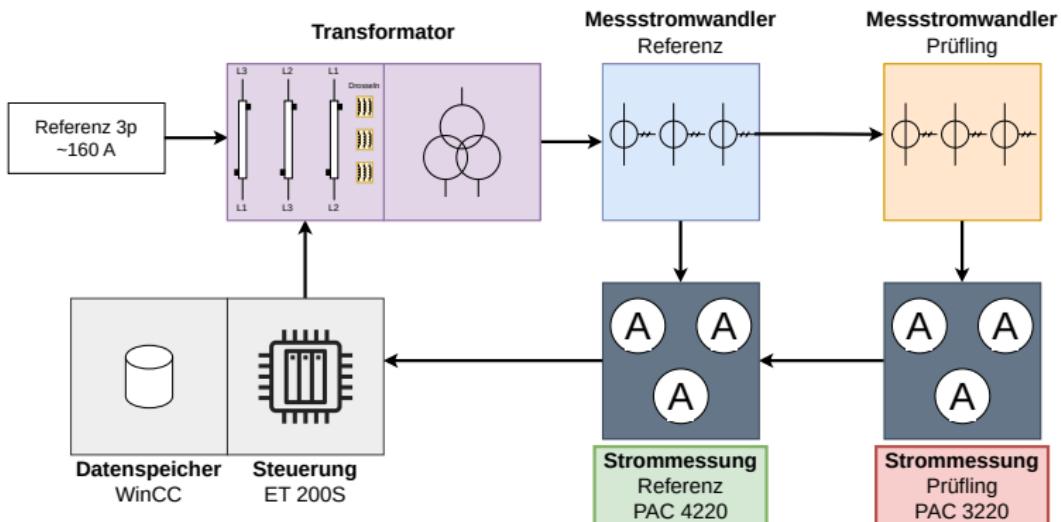
## Konstruktive Maßnahme: Dreiecksanordnung

Realisierung der geometrischen Optimierung ( $\Delta$ -Anordnung)

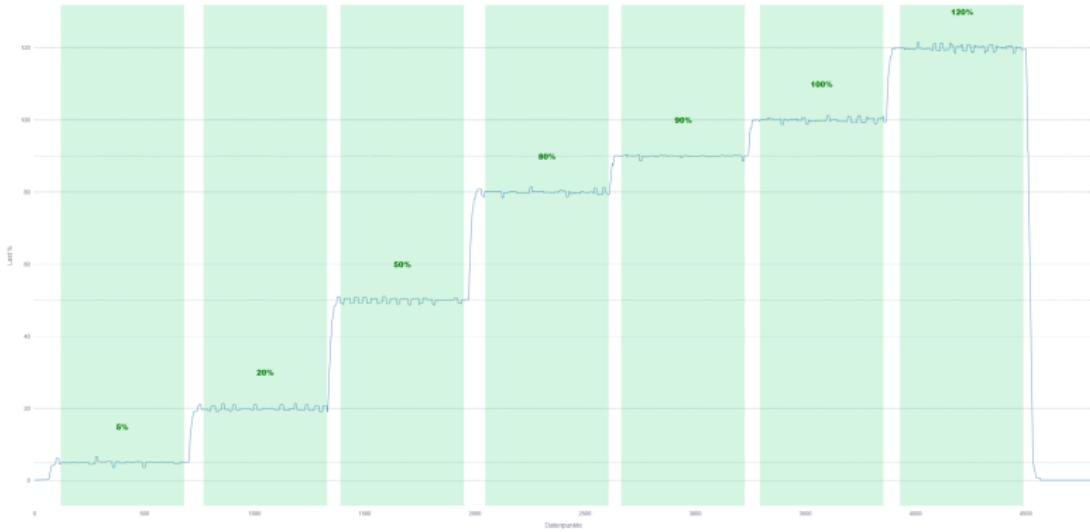


## Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

### Schematischer Aufbau der automatisierten Messstrecke

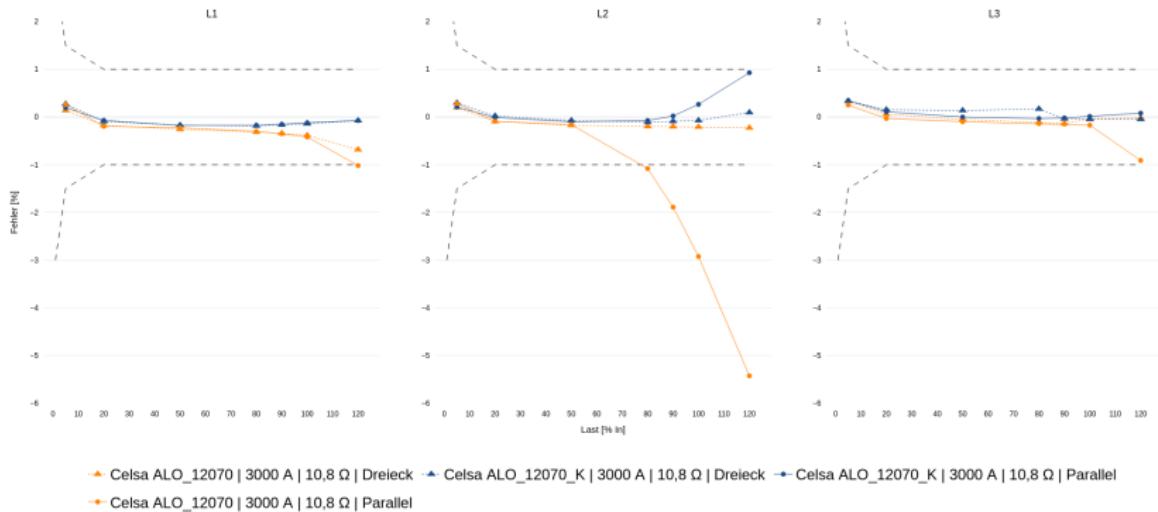


## Verlauf Original

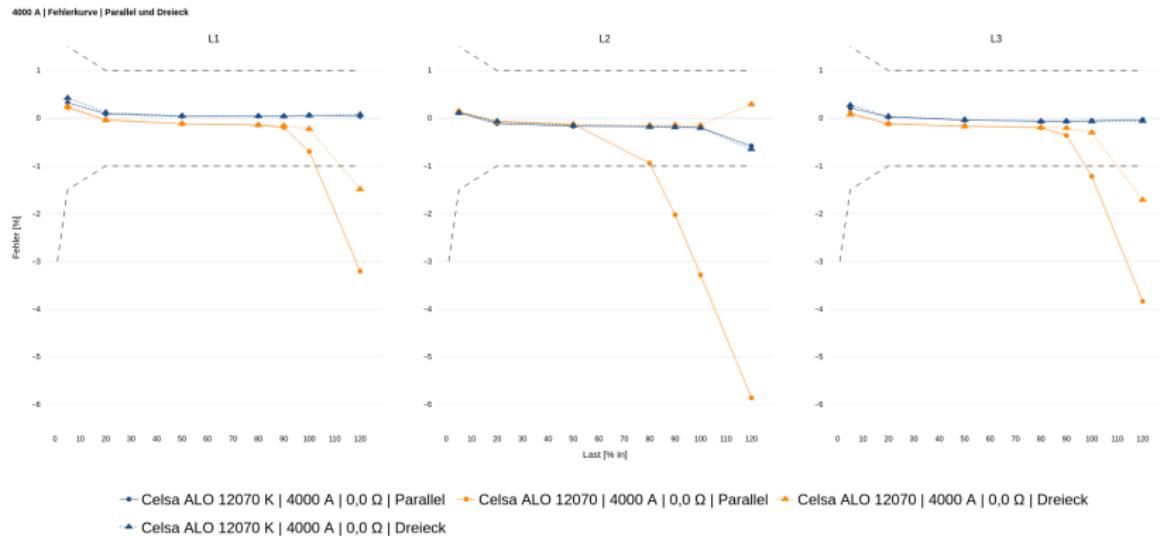


# Fehlerkurven bei 3000 A

3000 A | Fehlerkurve | Parallel und Dreieck



## Fehlerkurven bei 4000 A (Kritischer Bereich)





## Berechnungsgrundlagen der Analyse

Um die Diagramme korrekt zu interpretieren, hier die Methodik:

### 1. Mittlerer Gesamtfehler (Basiswert)

$$E_{\text{total}} = \frac{1}{3} \sum_{\text{Phasen}} \left( \frac{1}{n} \sum_{\text{Last}} |F_{\text{Messwert}}| \right)$$

Durchschnitt der **Beträge** über alle Lastpunkte (5%–120%) und Phasen.

---

### 2. Geom. Verbesserung (%)

$$\eta_{\text{geo}} = \left( 1 - \frac{E_{\text{Dreieck}}}{E_{\text{Parallel}}} \right) \cdot 100$$

Anteil des eliminierten Fehlers durch  
Geometrie-Wechsel.

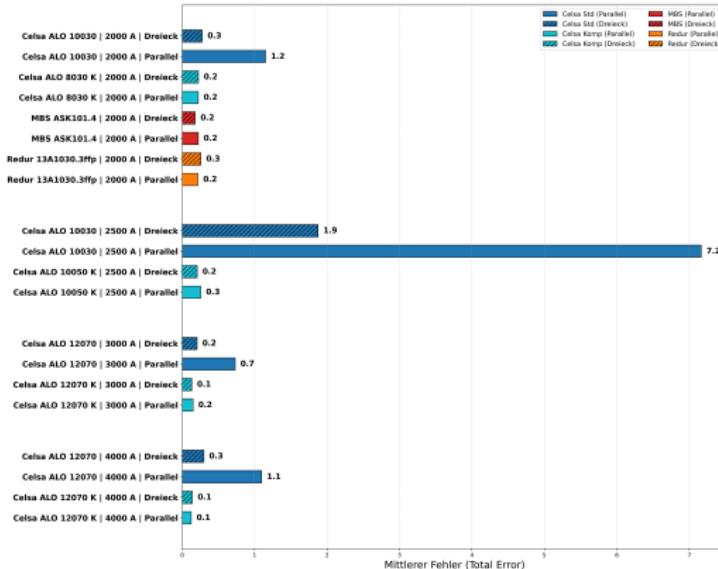
### 3. Wirtschaftlichkeit (%/€)

$$\eta_{\text{eco}} = \frac{\eta_{\text{geo}}}{\text{Preis } (\text{€})}$$

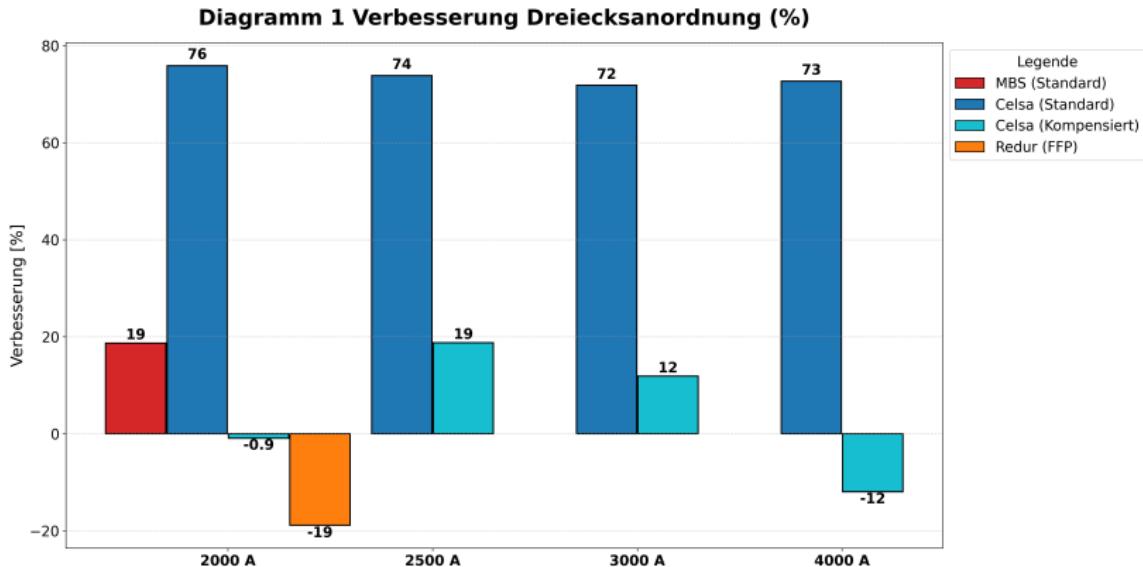
Technischer Gewinn normiert auf  
Investitionskosten.

# Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

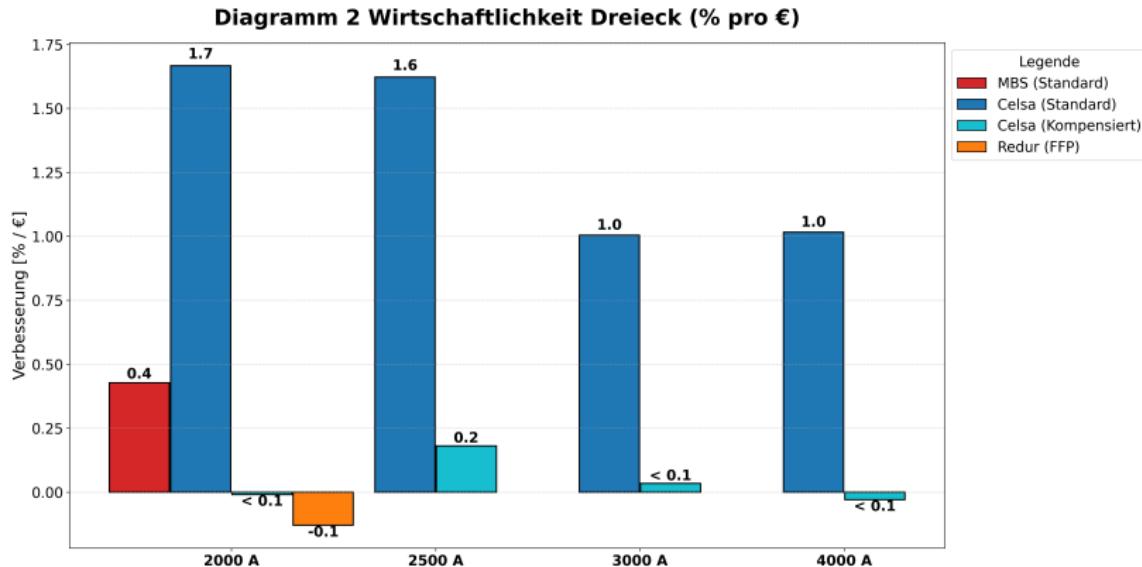
Wahre Fehler (Parallel vs. Dreieck)



## Verbesserung durch Dreiecksanordnung (in %)



## Wirtschaftlichkeit der Geometrie (% pro €)



## Zusammenfassung der Ergebnisse

### Technisch

- ▶ **Parallel:** ab  $>2500\text{ A}$  Sättigung, bis  $-6\%$ .
- ▶  **$\Delta$ -Geometrie:** reduziert Fehler um  $>90\%$ .
- ▶ **FFP:** nahezu immun, aber teurer.

Empfehlung



### Wirtschaftlich

- ▶ **Bestes P/L:** Standardwandler +  $\Delta$ .
- ▶ **FFP lohnt sich:** wenn Umbau nicht möglich (Nachrüstung/Platz).

Dreieck



## Ausblick und Handlungsempfehlung

### Neuanlagen

- ▶  $\Delta$ -Anordnung als Standard ab  $I > 2500 \text{ A}$
- ▶ CAD-Vorlagen anpassen (L2-Versatz)

### Bestandsanlagen

- ▶ Bei Abrechnungsrelevanz: FFP-Wandler
- ▶ Kompensationswandler nur bei extremen Störfeldern

*Klasse 1 ist durch geometrische Optimierung nahezu kostenneutral erreichbar.*

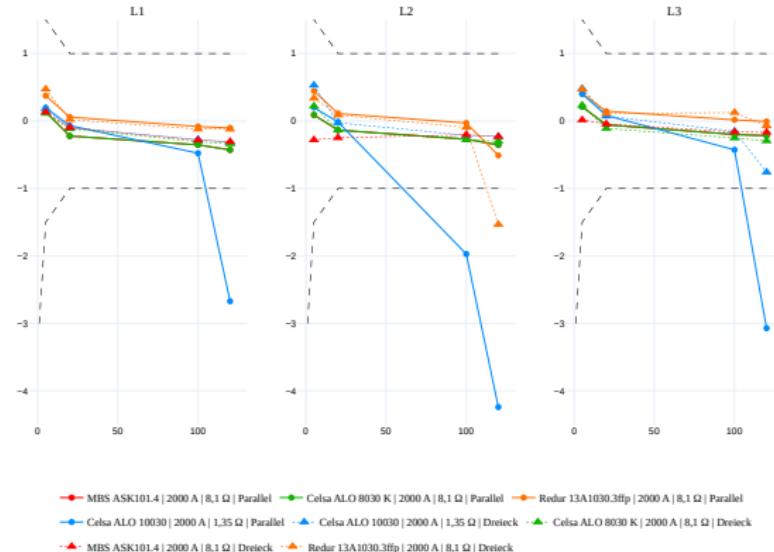


**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**

Ich stehe nun gerne für Ihre Fragen zur Verfügung.

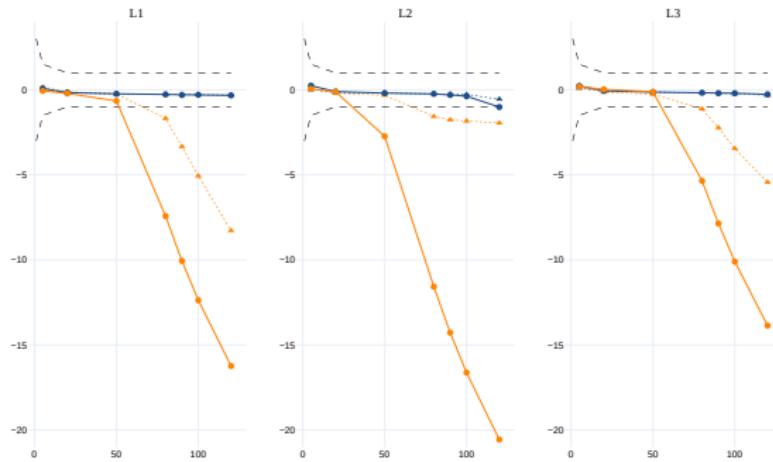
## Anhang: Zusammenfassung 2000 A

2000 A | Fehlerkurve | Parallel und Dreieck



## Anhang: Zusammenfassung 2500 A

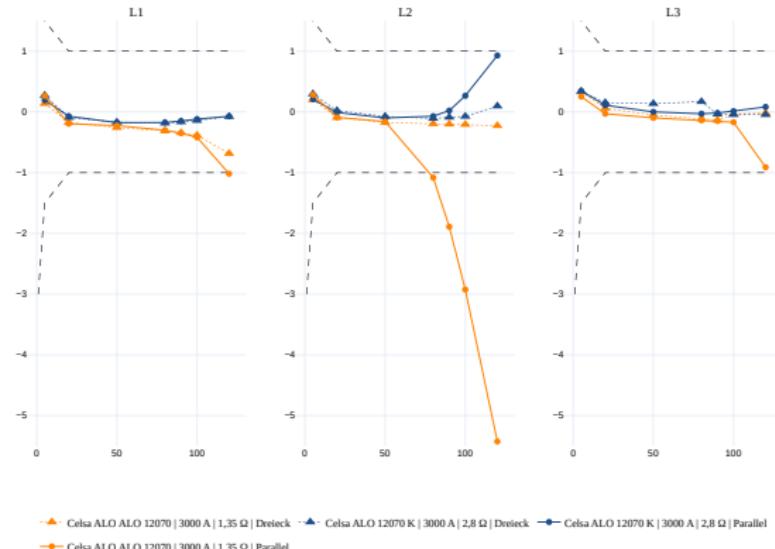
2500 A | Fehlerkurve | Parallel und Dreieck



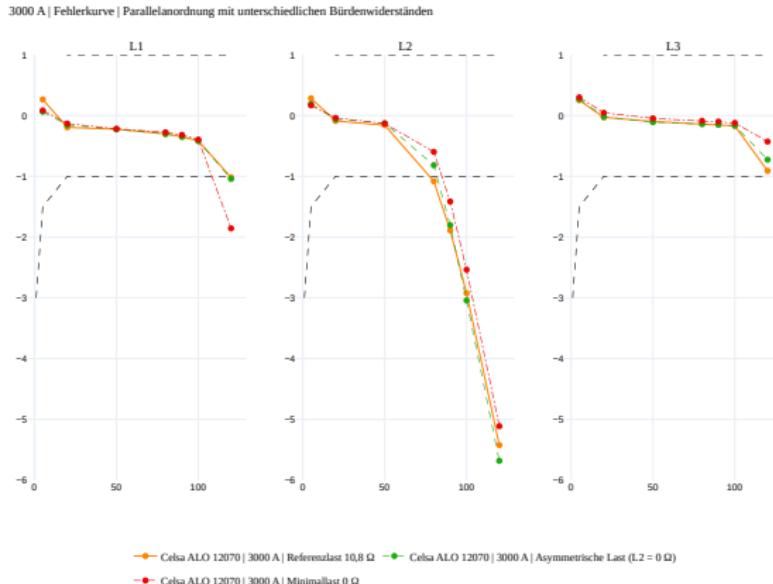
---▲--- Celsa ALO 10050 K | 2500 A | 2,8 Ω | Dreieck    ---△--- Celsa ALO 10030 | 2500 A | 1,35 Ω | Dreieck    ---●--- Celsa ALO 10050 K | 2500 A | 2,8 Ω | Parallel  
---○--- Celsa ALO 10030 | 2500 A | 1,35 Ω | Parallel

## Anhang: Zusammenfassung 3000 A

3000 A | Fehlerkurve | Parallel und Dreieck

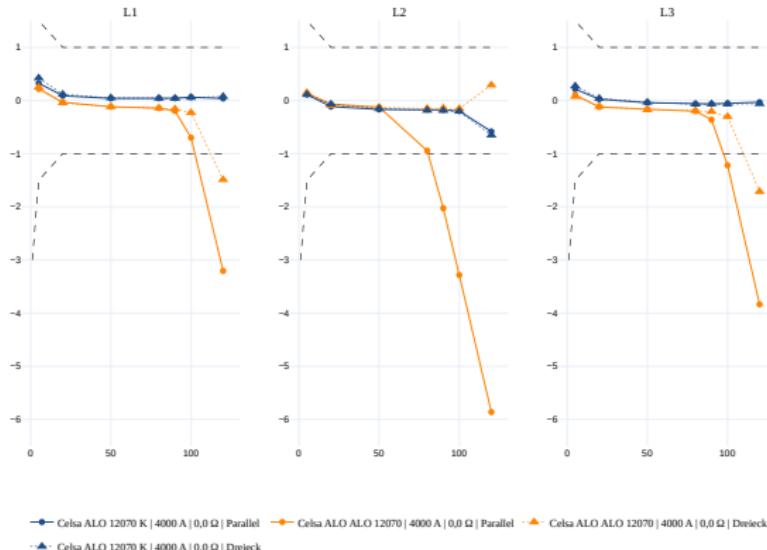


## Anhang: Zusammenfassung 3000 A Bürde



## Anhang: Zusammenfassung 4000 A

4000 A | Fehlerkurve | Parallel und Dreieck



## Anhang: Zusammenfassung 5000 A

5000 A | Fehlerkurve | Parallel und Dreieck

