



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
- ▶ Problemstellung und Lösungsansätze
- ▶ Versuchsaufbau und Durchführung
- ▶ Exemplarische Messergebnisse
- ▶ Vergleichende Analyse
- ▶ Fazit und Ausblick

## Motivation und Problemstellung

### Herausforderung Schaltanlagenbau

- ▶ Trend zu hoher Leistungsdichte auf minimalem Bauraum
- ▶ Hohe Primärströme bei geringen Schienenabständen
- ▶ Starke magnetische Fremdfeldkopplung
- ▶ Kritische Messwertverzerrung auf Phase L2

### Zielsetzung

- ▶ Entwicklung einer robusten und kosteneffizienten Lösung



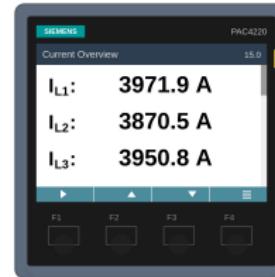
Kompakte Feldverteilung

## 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?*

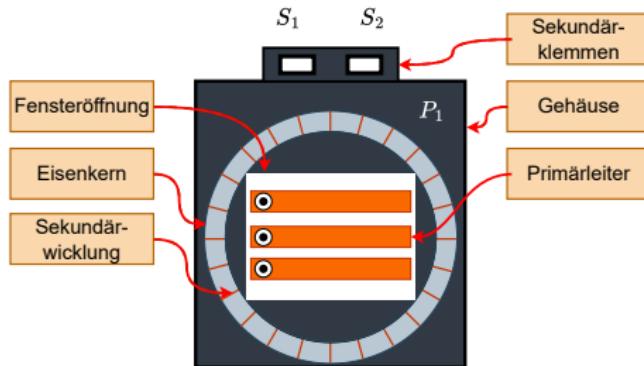
### Untersuchungsschwerpunkte

- ▶ Systematische Analyse der Fehler im Drehstromsystem (L1, L2, L3)
- ▶ Vergleich von Standard-, Kompensierten- und Spezialwandlern
- ▶ 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.

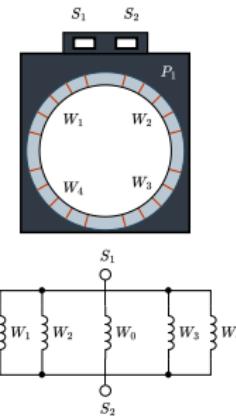
## Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

### Prinzip

- ▶ Zusatzwicklungen erzeugen Gegenfeld
- ▶ Aktive Fehlerkompensation

### Pro / Contra

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



Prinzip der Kompensationswicklung

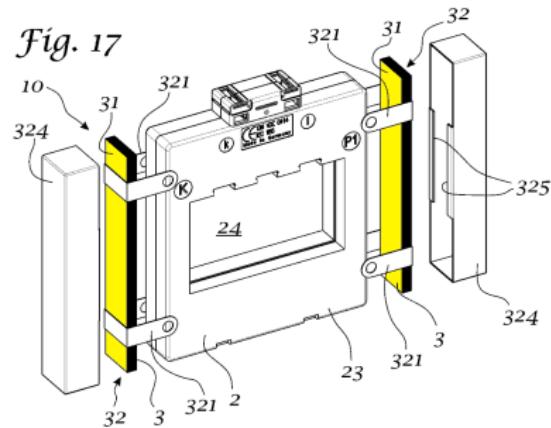
## Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

### Konstruktive Optimierung

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

### Zielsetzung

- ▶ Einhaltung Genauigkeitsklasse 1
- ▶ Schutz vor partieller Sättigung

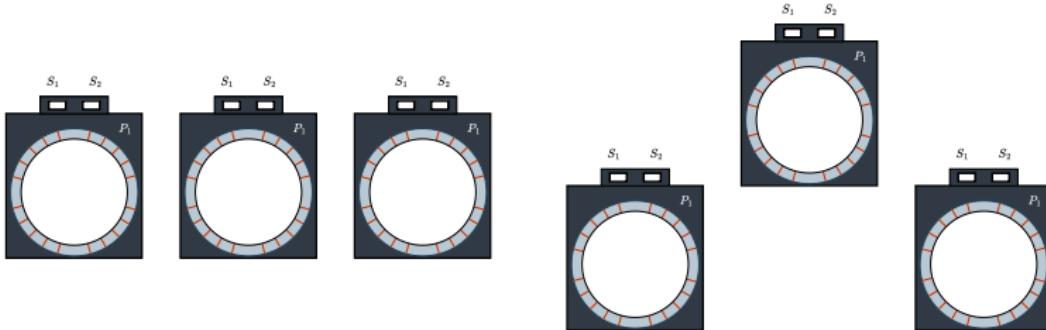


Quelle: Patent DE102021106843A1

(Redur)

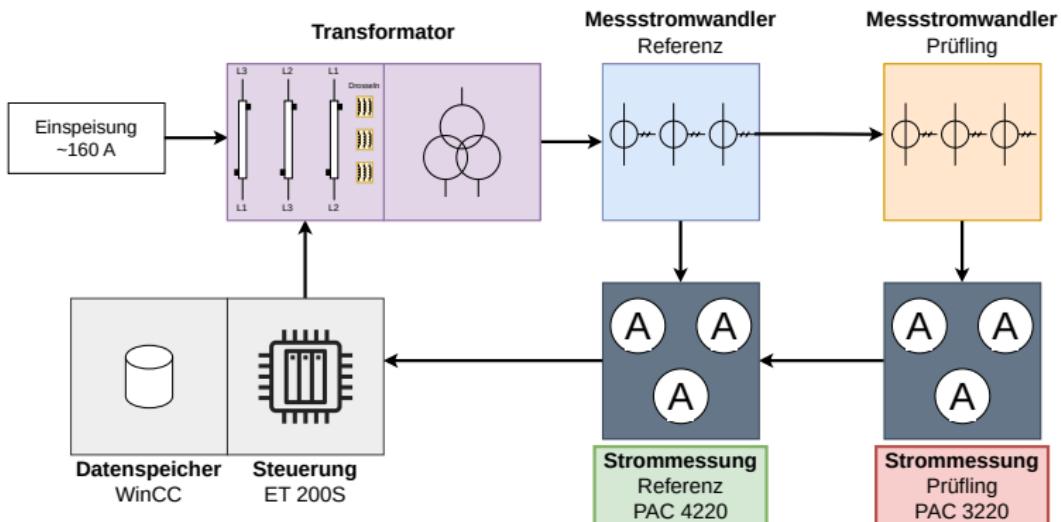
## Lösungsansatz: Dreiecksanordnung

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



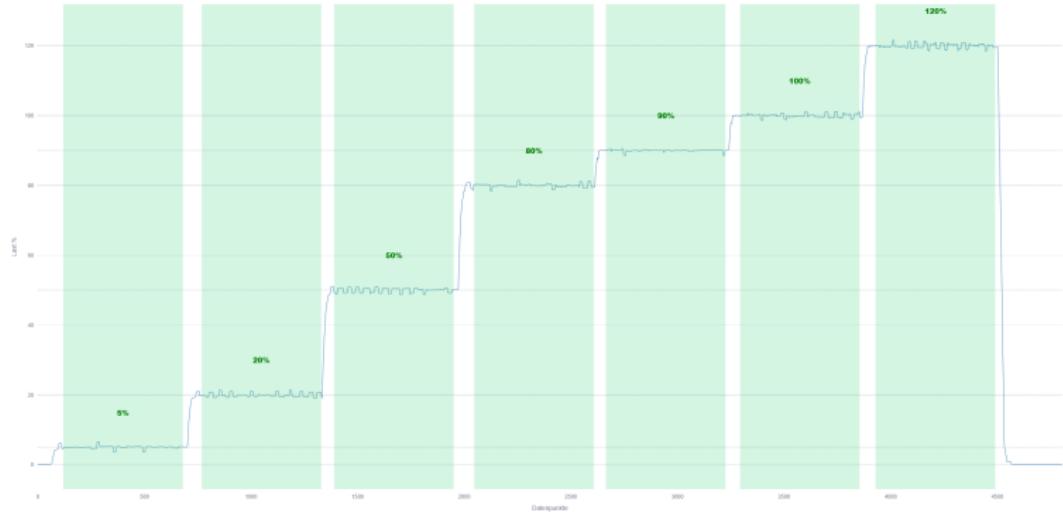
## Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

### Schematischer Aufbau der automatisierten Messstrecke

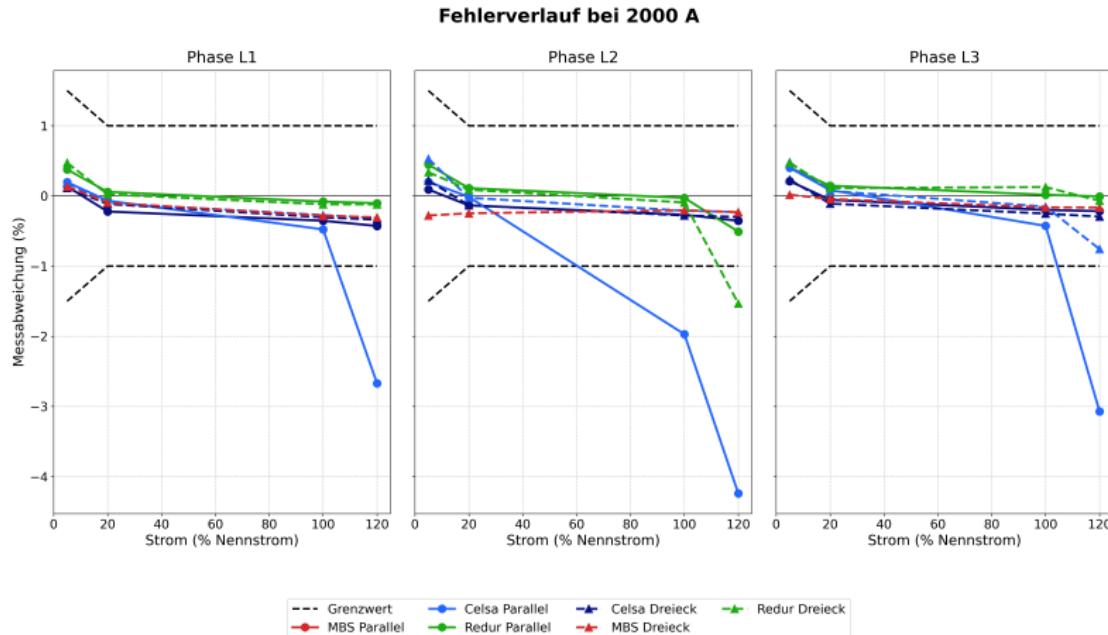


## Lastprofil und Prüfablauf

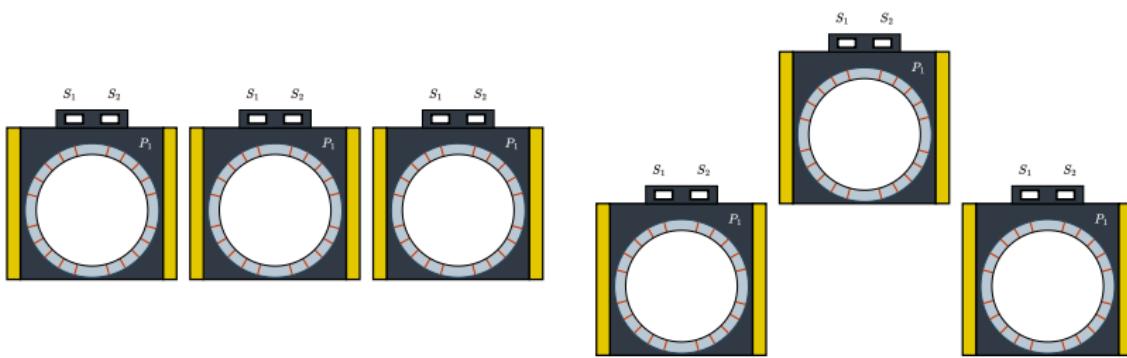
### Visualisierung der automatisierten Messsequenz



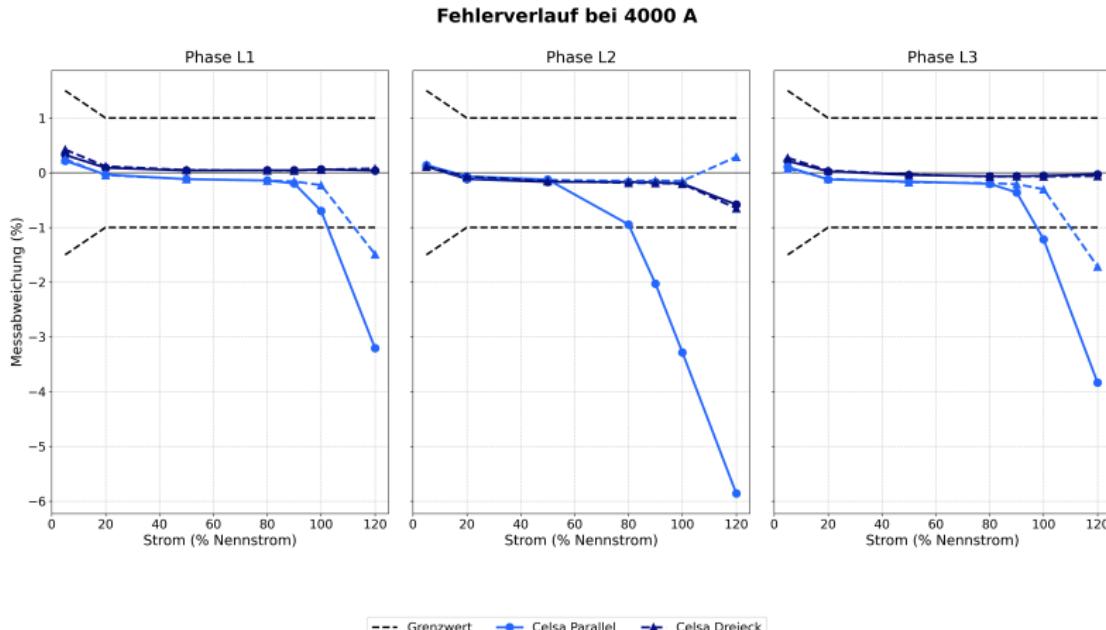
## Genauigkeitsmessung bei 2000 A (Linearer Bereich)



## Aufbau FFP-Wandler (kompensiert)



## Genauigkeitsmessung 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.

Vergleichende Analyse

### 3. Wirtschaftlichkeit (%/€)

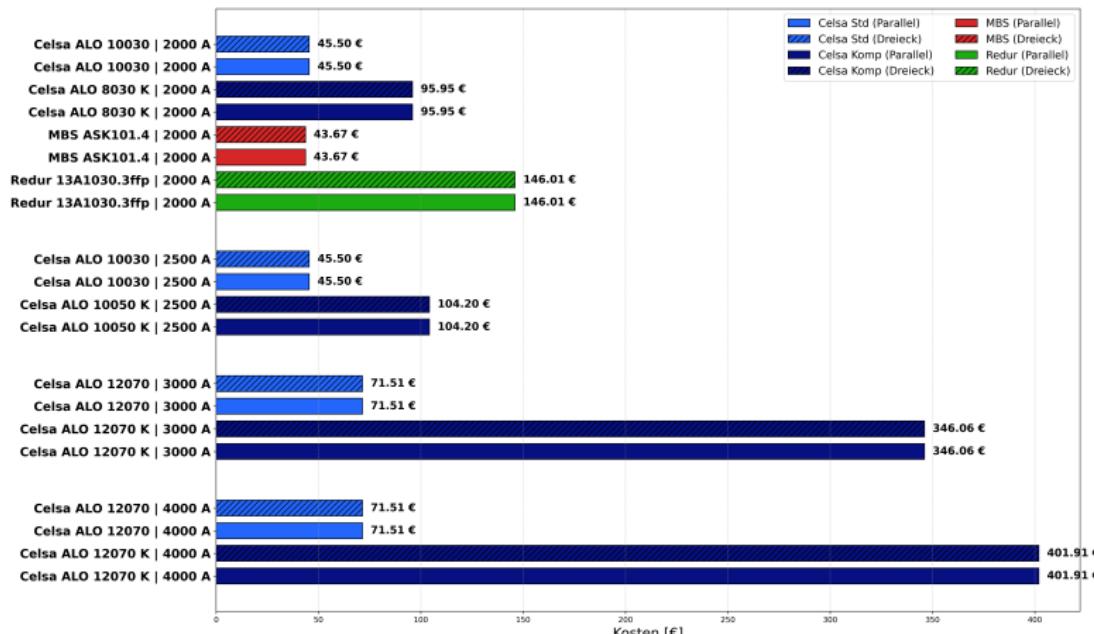
$$\eta_{\text{eco}} = \frac{\eta_{\text{geo}}}{\text{Preis } (\text{€})}$$

Technischer Gewinn normiert auf  
Investitionskosten.



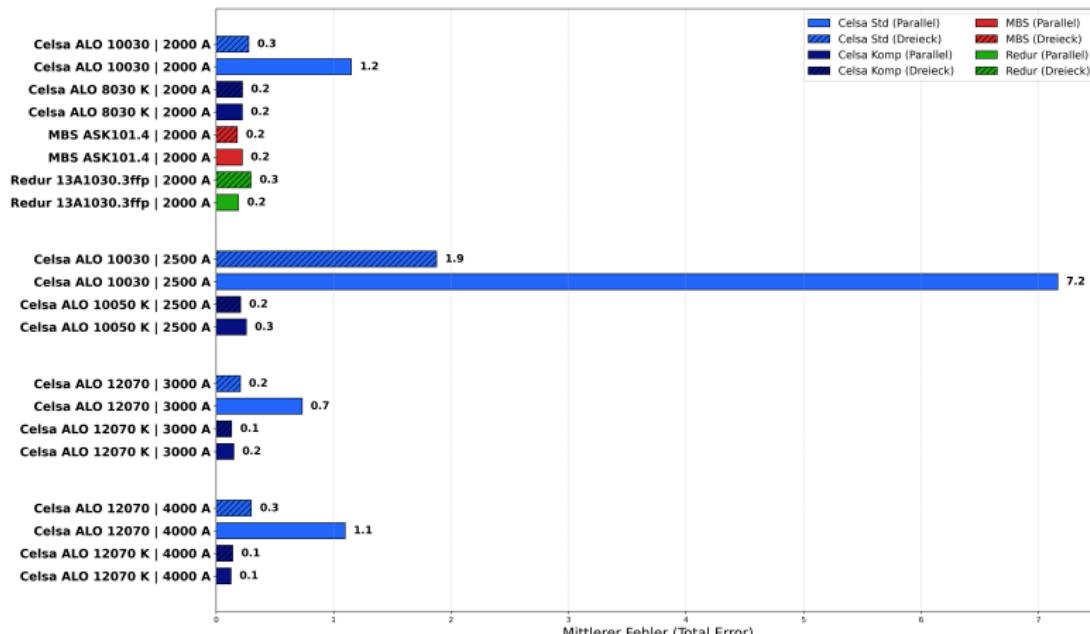
## Wirtschaftliche Einordnung der Wandler

Kostenübersicht der Wandler



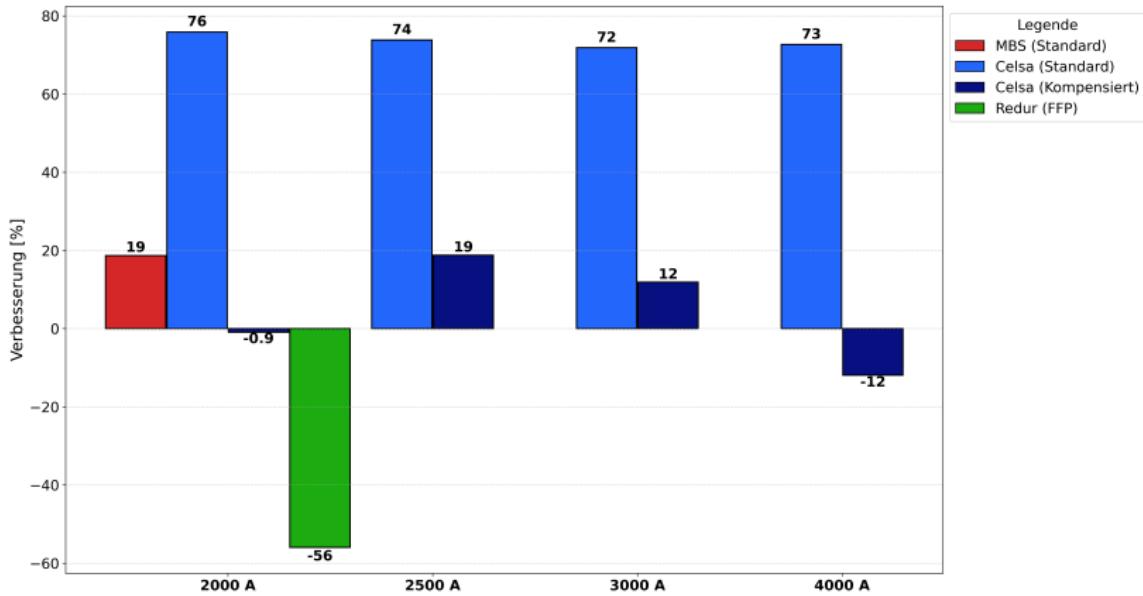
## Gesamtfehler im Vergleich: Parallel vs. Dreieck

Wahre Fehler (Parallel vs. Dreieck)



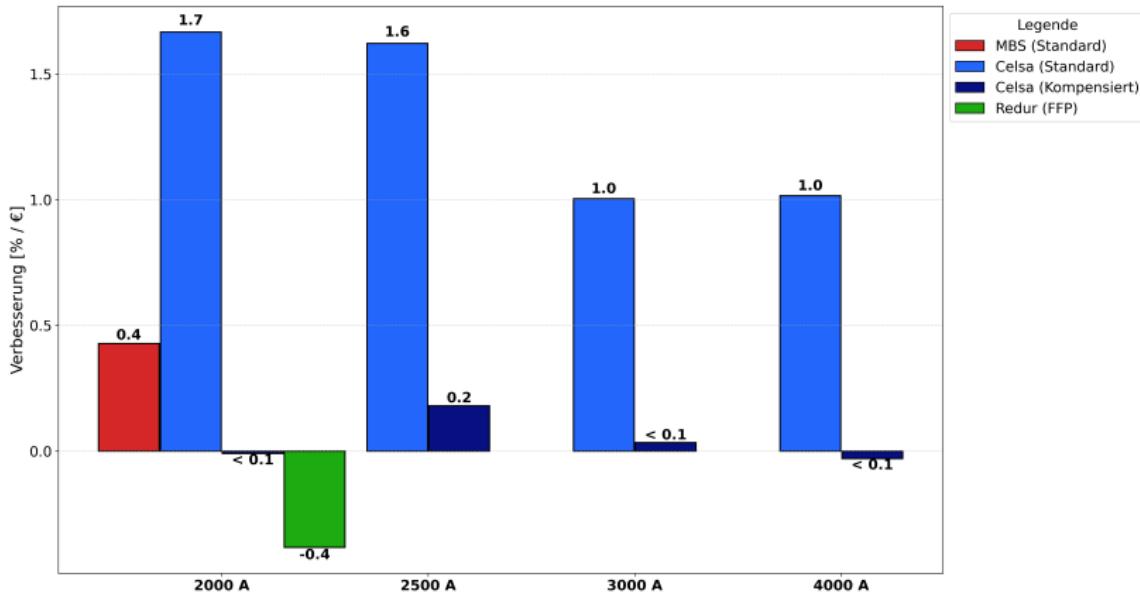
# Wirksamkeit der geometrischen Optimierung

Diagramm 1 Verbesserung Dreiecksanordnung (%)



## Ökonomische Bewertung der Maßnahmen

Diagramm 2 Wirtschaftlichkeit Dreieck (% pro €)



## Bewertung der Lösungsansätze

### 1. Kompensierte Wandler

- ▶ Technisch führend (höchste Genauigkeit)
- ▶ Investitionskosten Faktor 2 bis 6 höher

**Empfehlung**



Dreieck

### 2. Fremdfeld-Protektion (FFP)

- ▶ Hohe Genauigkeit bei Ausrichtung
- ▶ Ideal zur Nachrüstung im Bestand

### 3. Dreiecksanordnung (Standard)

- ▶ Normerfüllung durch Geometrie
- ▶ Preis-Leistungs-Sieger

**Neu:** Dreieck

**Bestand:** FFP

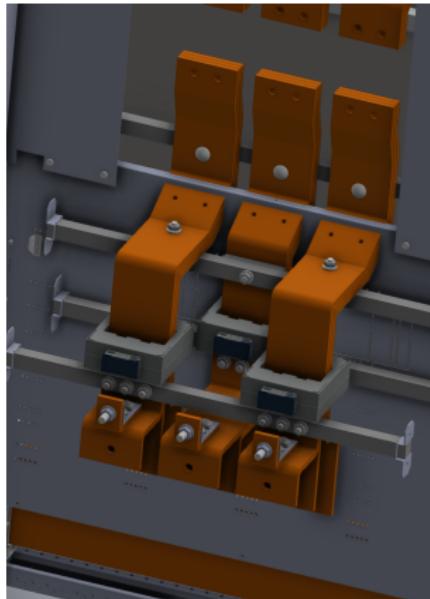
**Präzise:** Kompensiert

## Bewertung: Dreiecksanordnung (Empfehlung)

- ▶ Preis-Leistungs-Sieger im Vergleich
- ▶ Normerfüllung durch geometrische Verschiebung im Nennstrombereich realisiert
- ▶ Einsatz kostengünstiger Standardwandler möglich

### Fazit

Die Verzerrung auf Leiter L2 wird korrigiert und die Genauigkeitsklasse 1 sicher eingehalten.



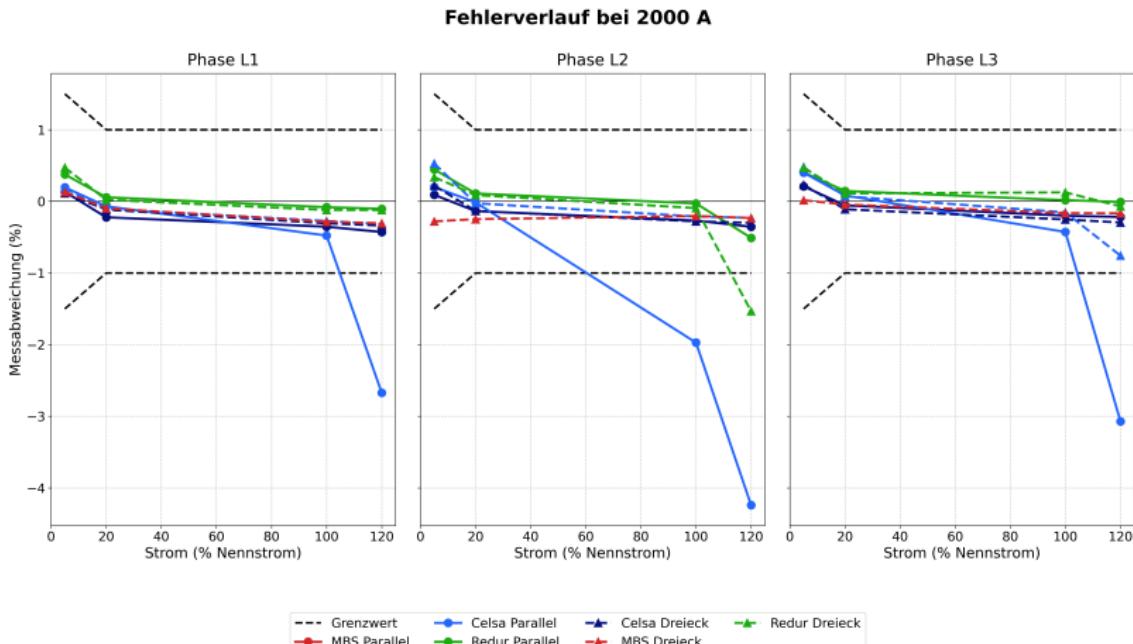
Realisierung der Dreiecksanordnung



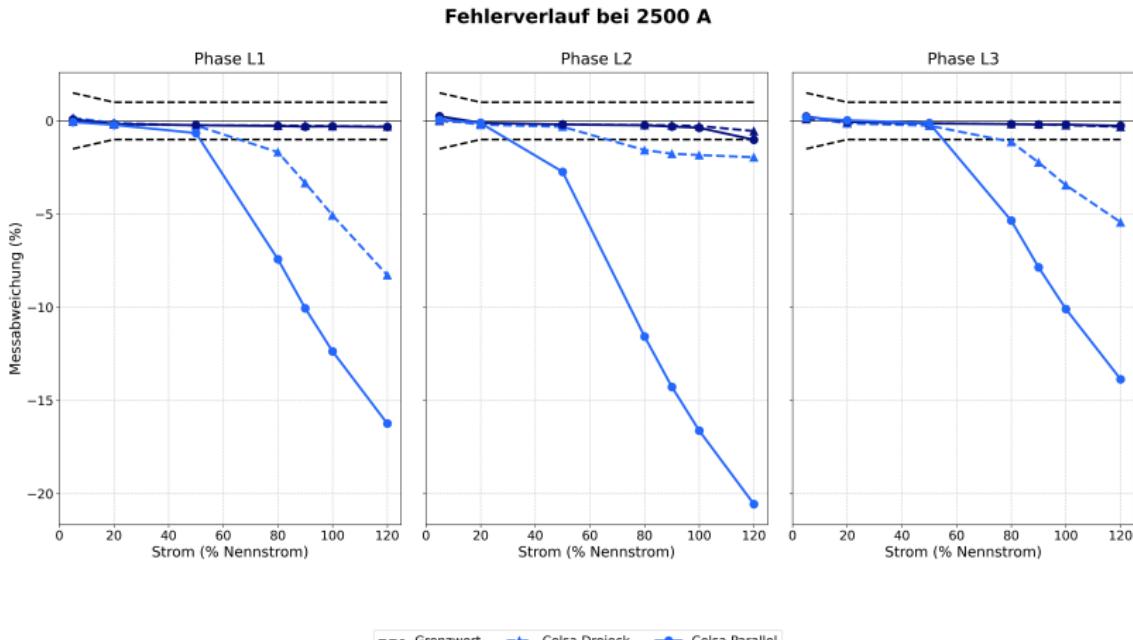
**Herzlichen Dank für Ihre Zeit sowie Ihr  
Interesse an meiner Präsentation.**

Ich stehe nun gerne für Ihre Fragen zur Verfügung.

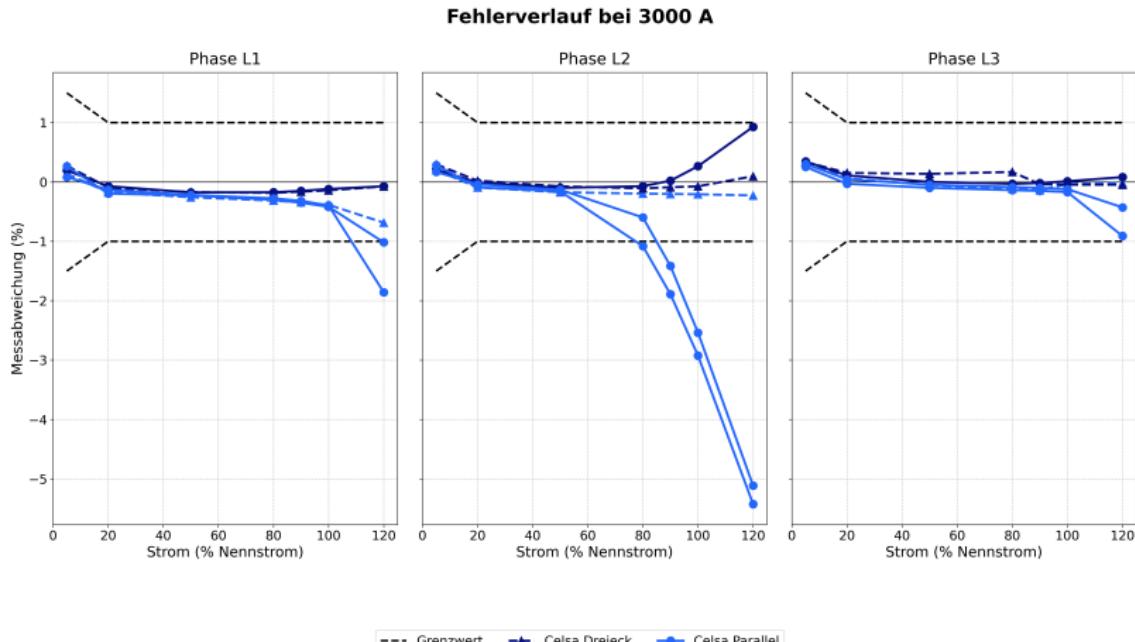
## Anhang: Zusammenfassung 2000 A



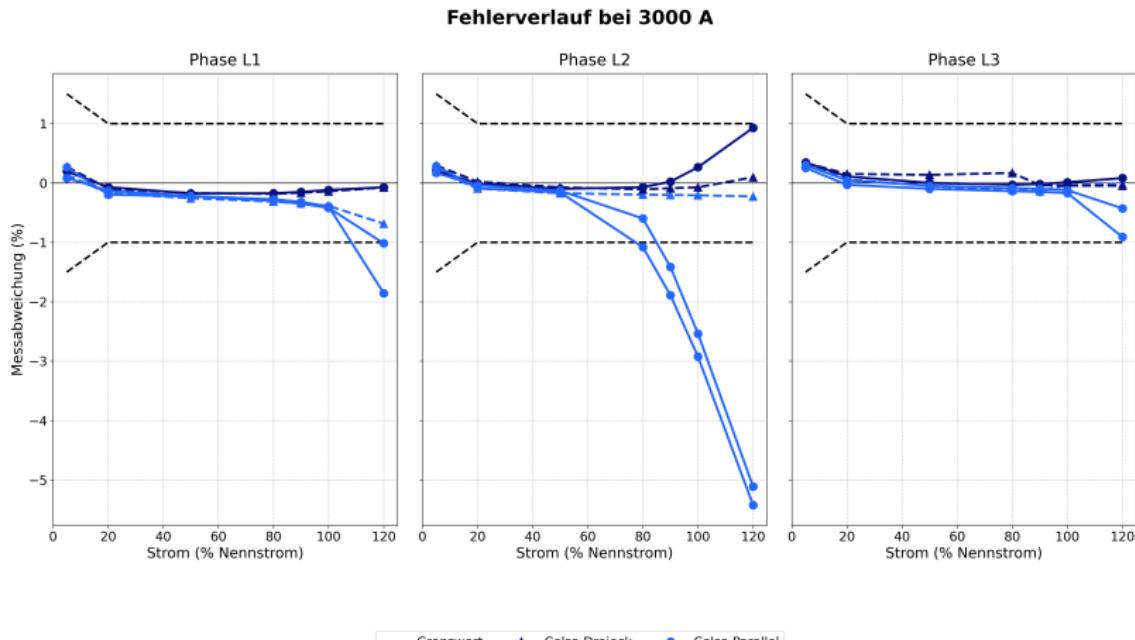
## Anhang: Zusammenfassung 2500 A



## Anhang: Zusammenfassung 3000 A



## Anhang: Zusammenfassung 3000 A Bürde



## Anhang: Zusammenfassung 4000 A

