



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE  
EMDEN·LEER



Rolf Janssen GmbH  
Elektrotechnische Werke

# Fremdfeldbeeinflussung auf Messstromwandler in der Niederspannung

Oliver-Luca Schmidt

Betreuung:

Dr.-Ing. Sandro Günter

Dipl.-Ing. Rainer Ludewig

25. November 2025

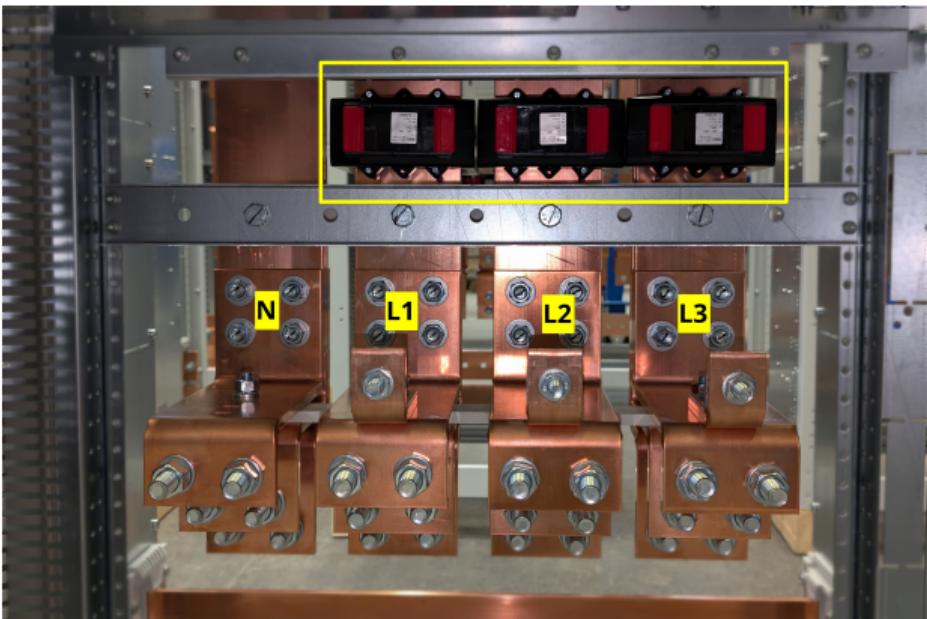
# Agenda



- ▶ Einleitung
- ▶ Problemstellung und Lösungsansätze
- ▶ Versuchsaufbau und Durchführung
- ▶ Exemplarische Messergebnisse
- ▶ Vergleichende Analyse

# Motivation und Problemstellung

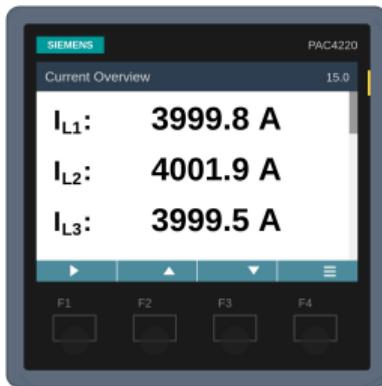
- ▶ Trend zu hoher Leistungsdichte auf minimalem Bauraum
- ▶ Hohe Primärströme bei geringen Schienenabständen
- ▶ Starke magnetische Fremdfeldkopplung



# Problemstellung – Messabweichung

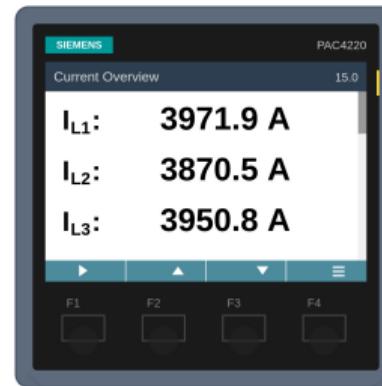


## Vergleich bei 4000 A Primärstrom – Symmetrische Last



Referenz (Sollwert) Kl. 0,2S

L1    -0,005 %  
L2    0,047 %  
L3    -0,012 %



Prüfling (Beeinflusst) Kl. 1,0

L1    ≈ -0,704 %  
L2    ≈ -3,238 %  
L3    ≈ -1,230 %

## 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)

---

$\approx 47\,000 \text{ € / Jahr}$

## Leitfrage der Untersuchung

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

## Untersuchungsschwerpunkte

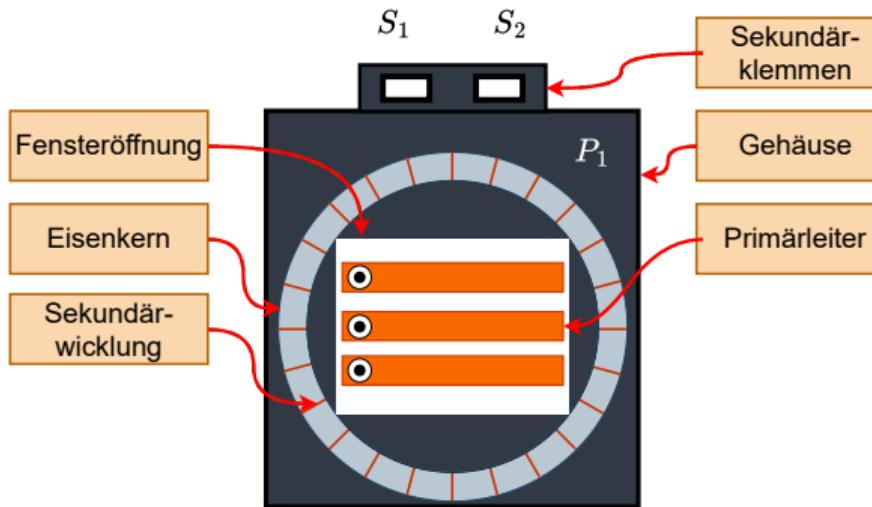
- ▶ Systematische Analyse der Fehler im Drehstromsystem (L1, L2, L3)
- ▶ Vergleich von Standard-, Kompensierten- und Spezialwandlern
- ▶ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Neukonstruktion

# 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

## 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

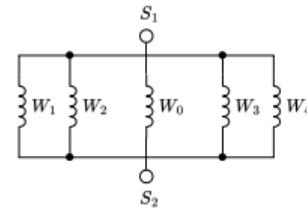
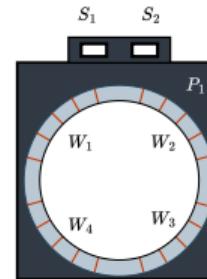


## Prinzip

- ▶ Zusatzwicklungen erzeugen Gegenfeld
- ▶ Aktive Fehlerkompensation

## Pro / Contra

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



Prinzip der Kompensationswicklung

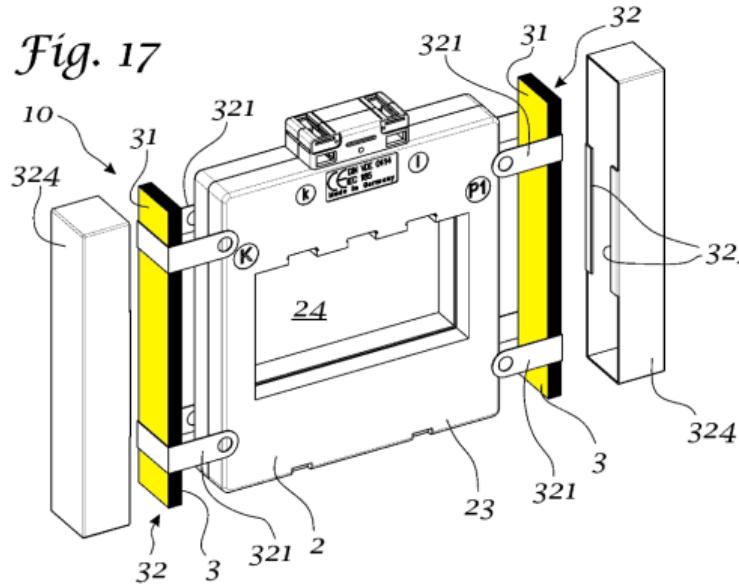
## Konstruktive Optimierung

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

## Zielsetzung

- ▶ Einhaltung Genauigkeitsklasse 1
- ▶ Schutz vor partieller Sättigung

Fig. 17

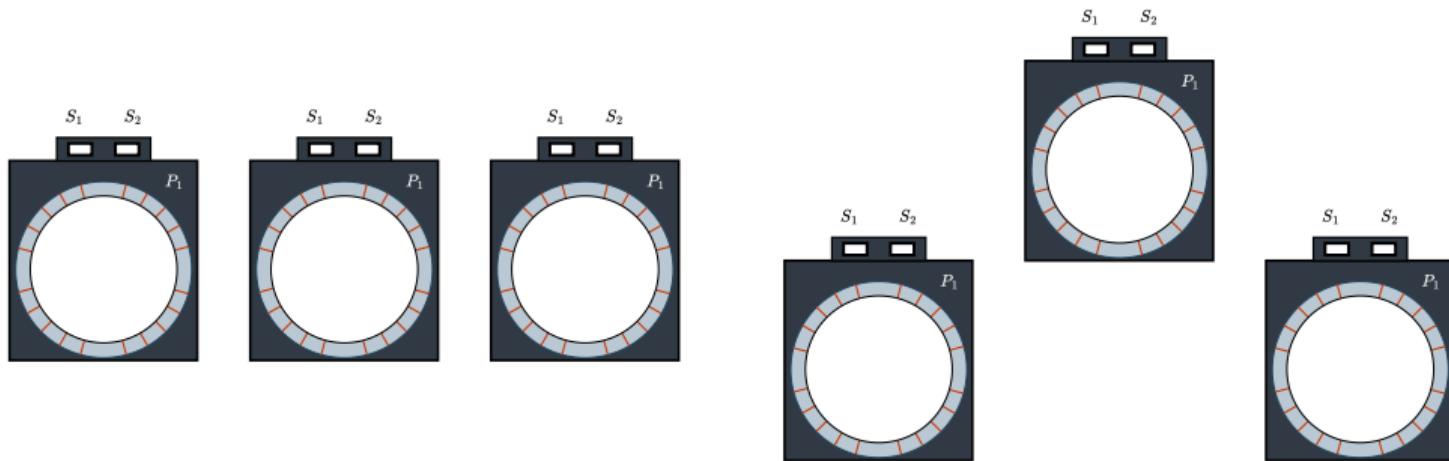


Quelle: Patent DE102021106843A1 (Redur)

# Lösungsansatz: Dreiecksanordnung

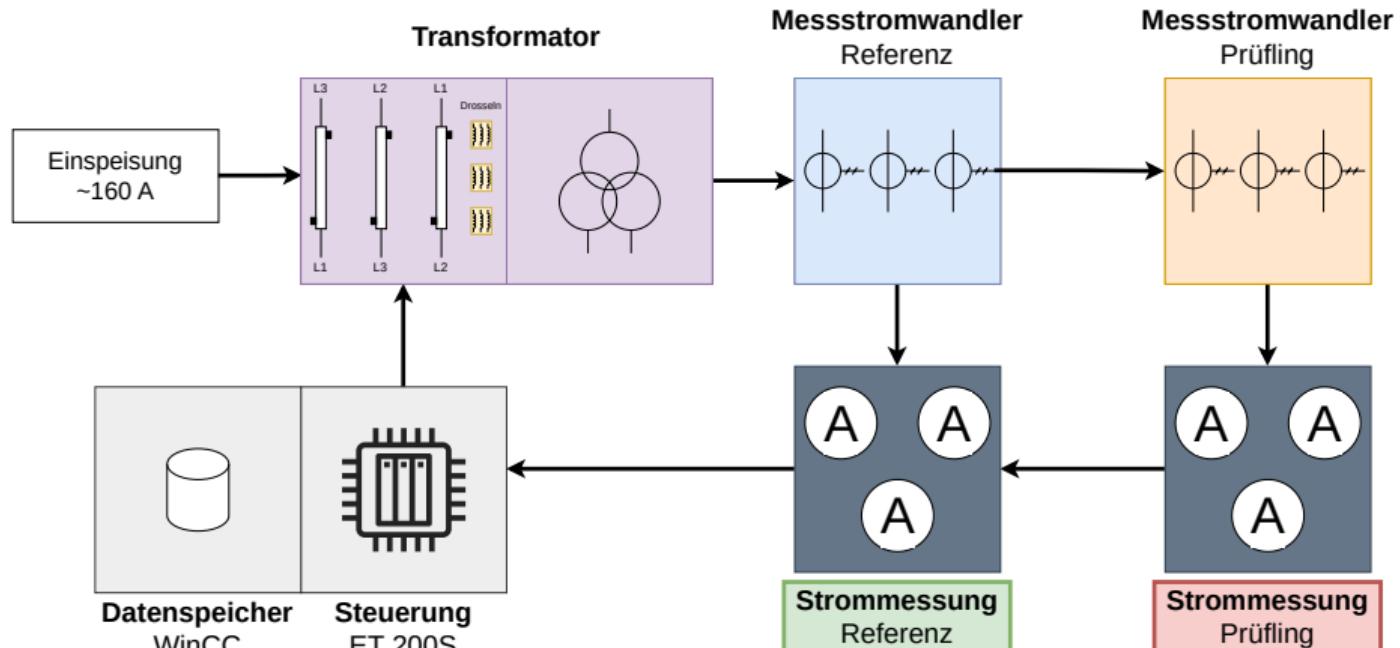


Realisierung der geometrischen Optimierung ( $\Delta$ -Anordnung)



# Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

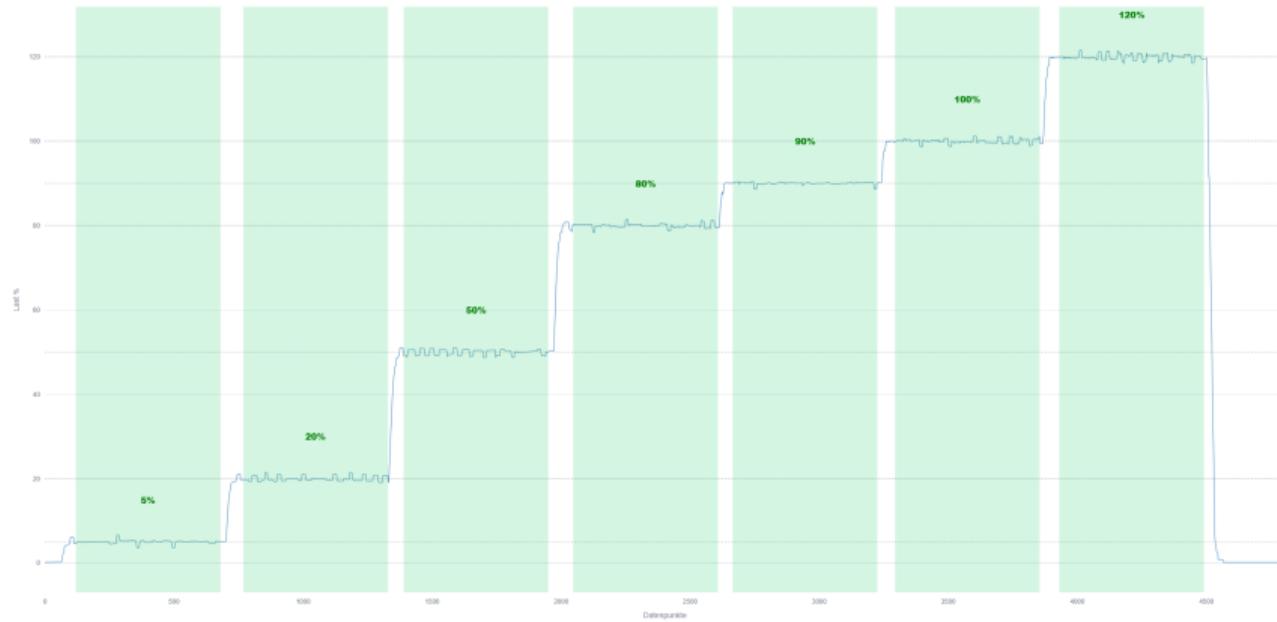
## Schematischer Aufbau der automatisierten Messstrecke



# Lastprofil und Prüfablauf



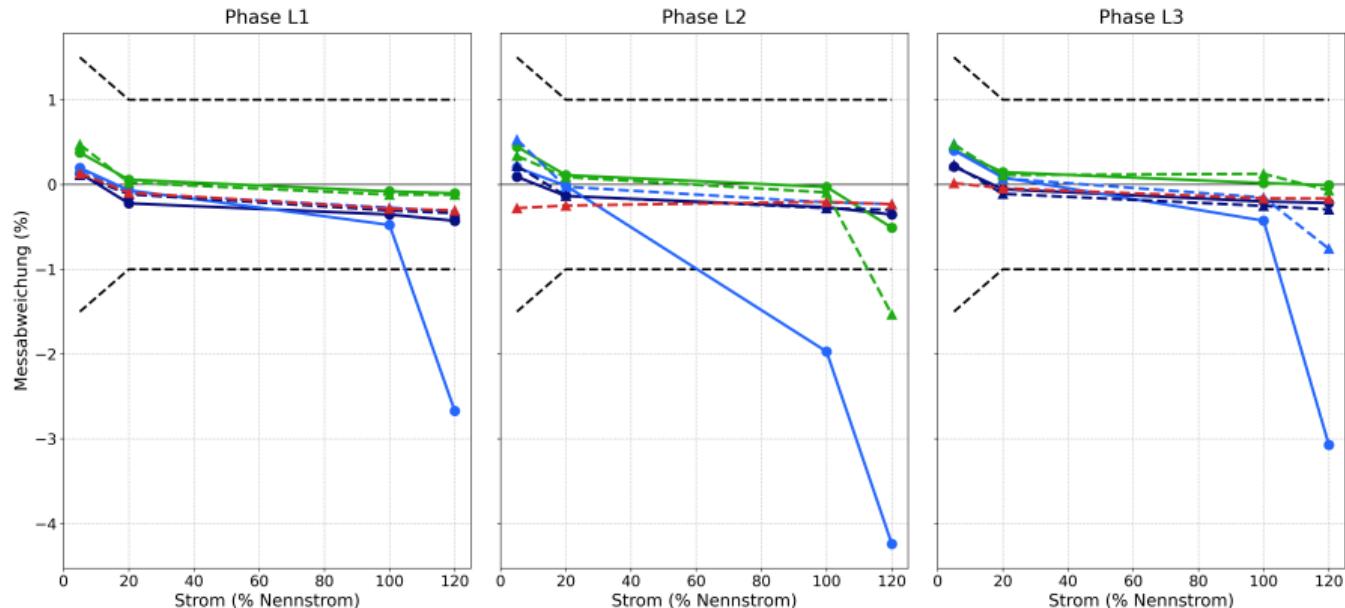
## Visualisierung der automatisierten Messsequenz



# Genauigkeitsmessung bei 2000 A (Linearer Bereich)

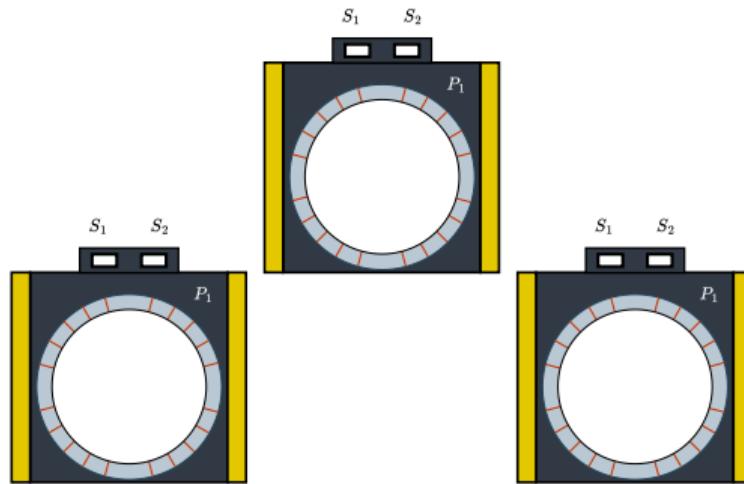
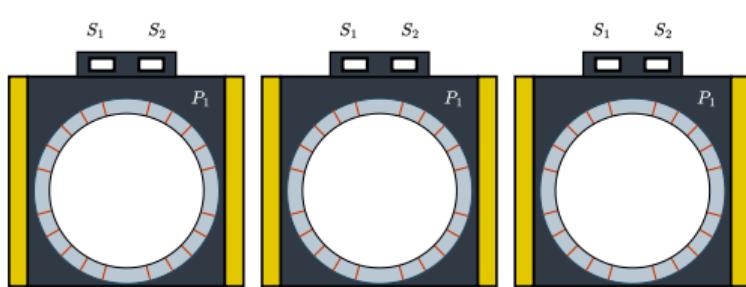


Fehlerverlauf bei 2000 A



--- Grenzwert    ● Celsa Parallel    ▲ Celsa Dreieck    ▲ Redur Dreieck

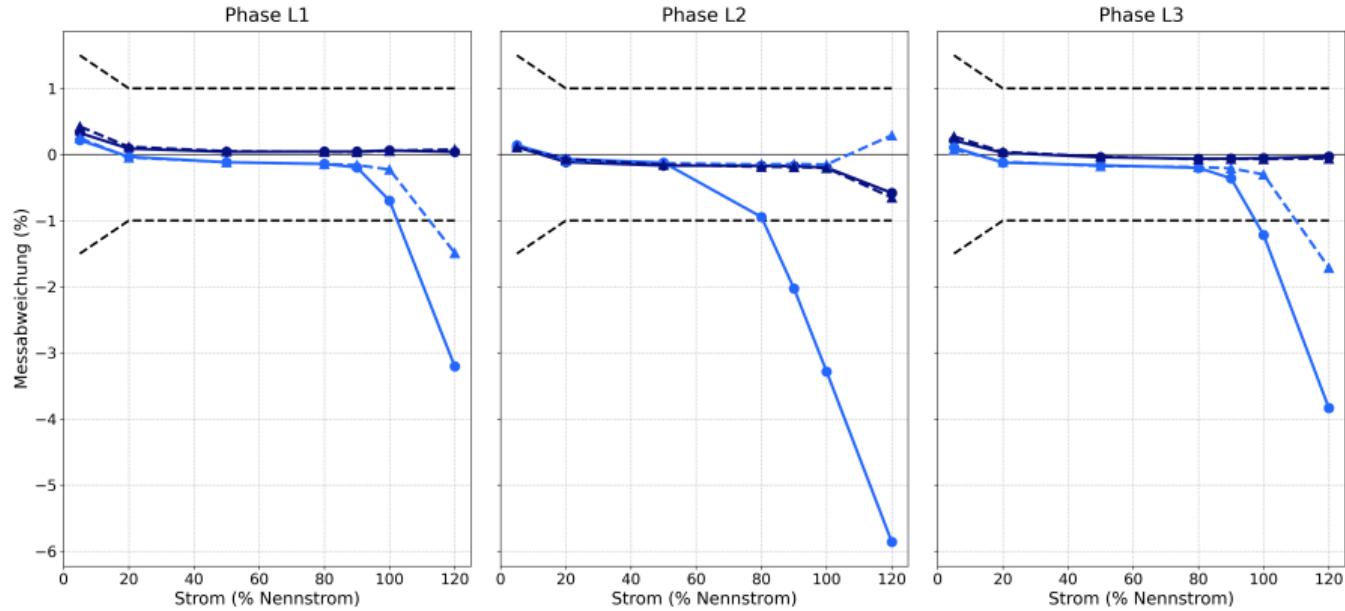
# Aufbau FFP-Wandler (kompensiert)



# Genauigkeitsmessung bei 4000 A (Kritischer Bereich)



Fehlerverlauf bei 4000 A



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 (%/€)

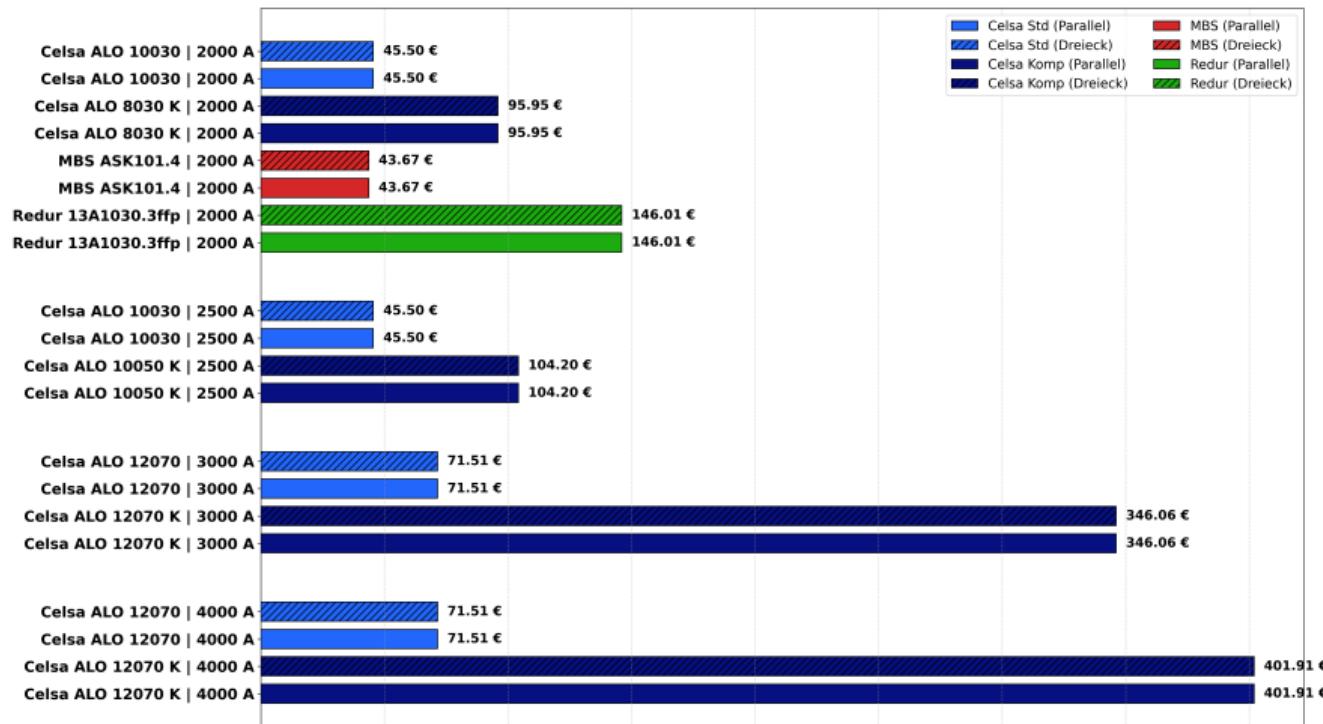
$$\eta_{\text{eco}} = \frac{\eta_{\text{geo}}}{\text{Preis } (\text{€})}$$

Technischer Gewinn normiert auf  
Investitionskosten.

# Wirtschaftliche Einordnung der Wandler



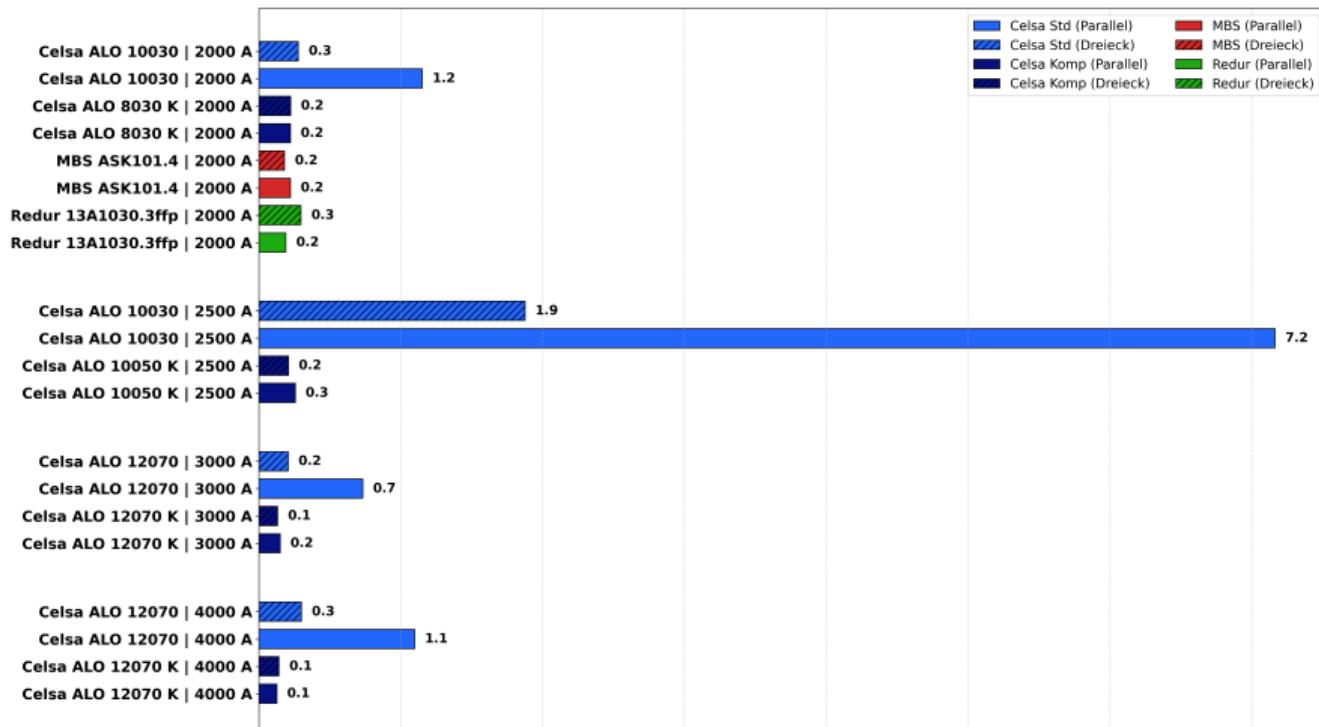
## Kostenübersicht der Wandler



# Gesamtfehler im Vergleich: Parallel vs. Dreieck



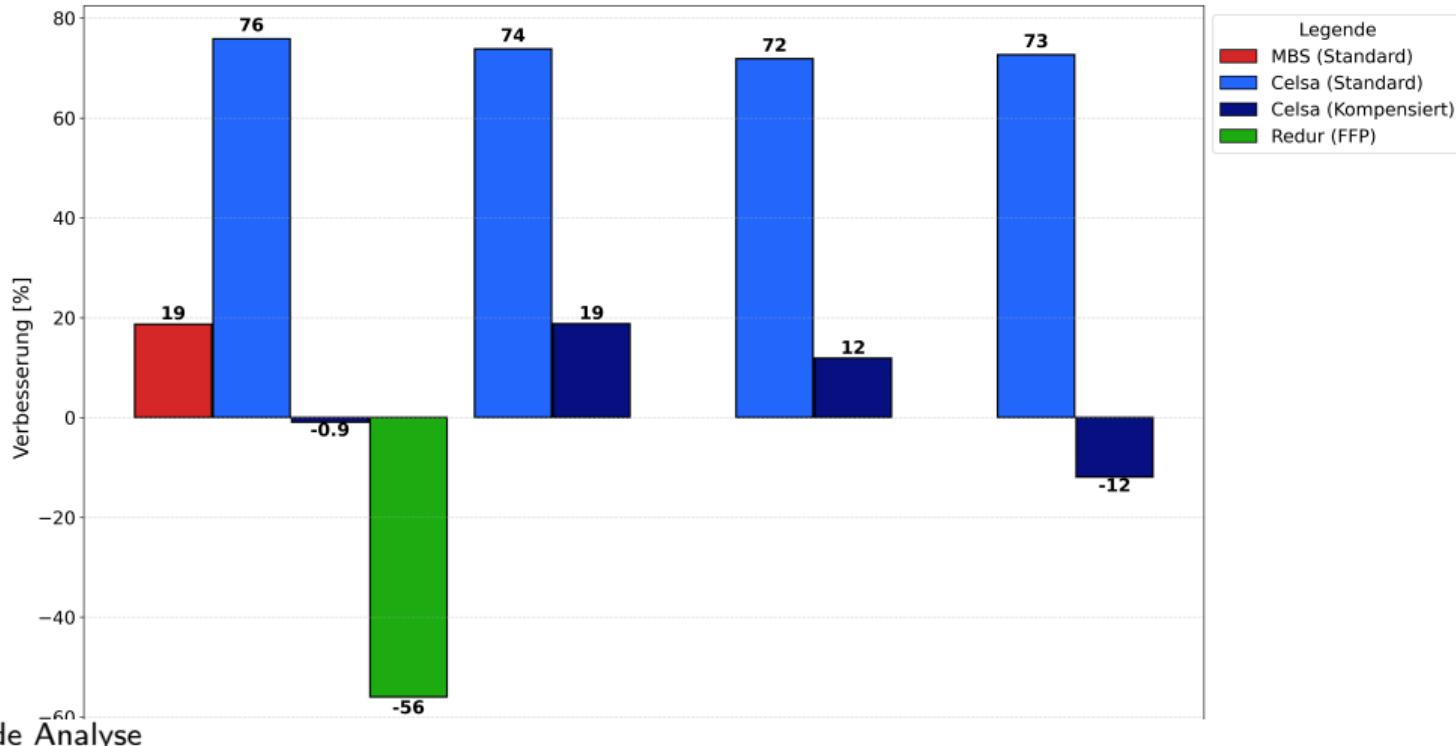
Wahre Fehler (Parallel vs. Dreieck)



# Wirksamkeit der geometrischen Optimierung



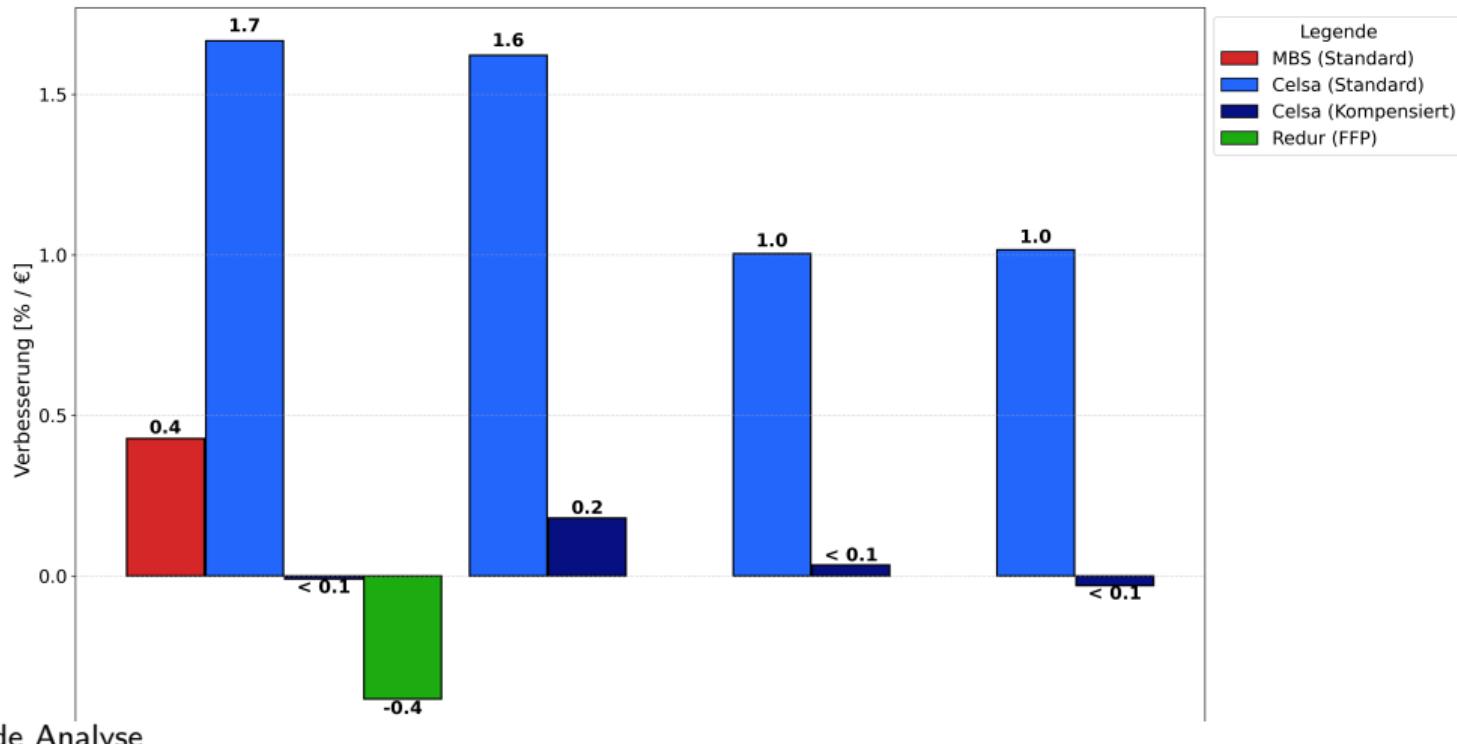
Diagramm 1 Verbesserung Dreiecksanordnung (%)



# 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**

## 2. Fremdfeld-Protektion (FFP)

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



Dreieck

## 3. Dreiecksanordnung (Standard)

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

Neu: Dreieck

Bestand: FFP

Präzise: Kompensiert

*Fazit: Alle Technologien reduzieren L2-Verzerrung.*

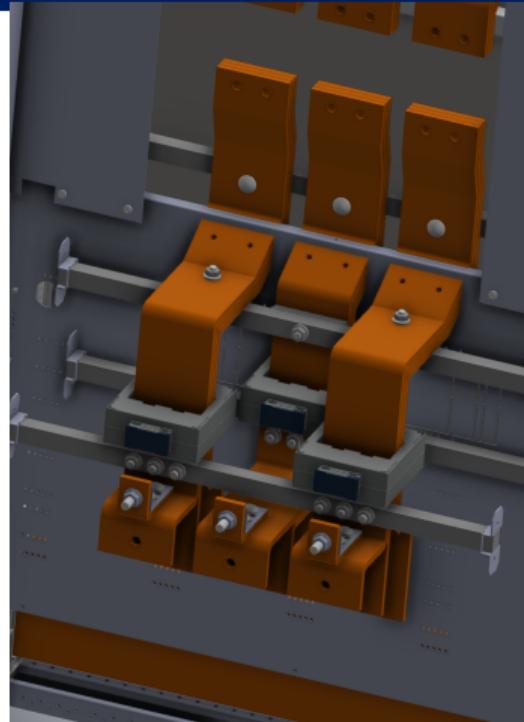
# Bewertung: Dreiecksanordnung (Empfehlung)



- ▶ 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.**

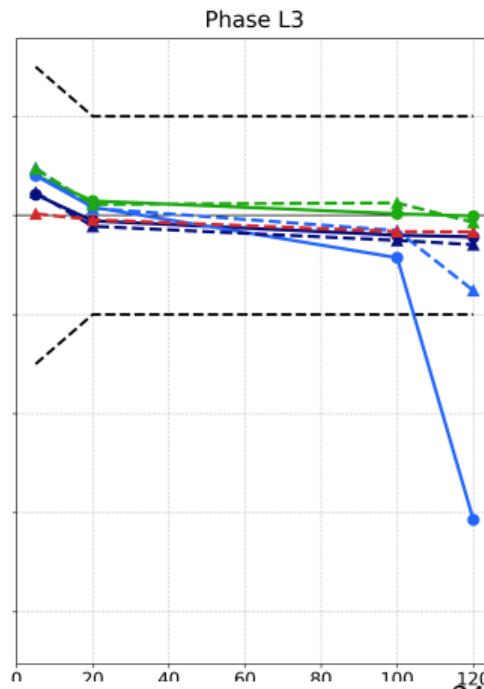
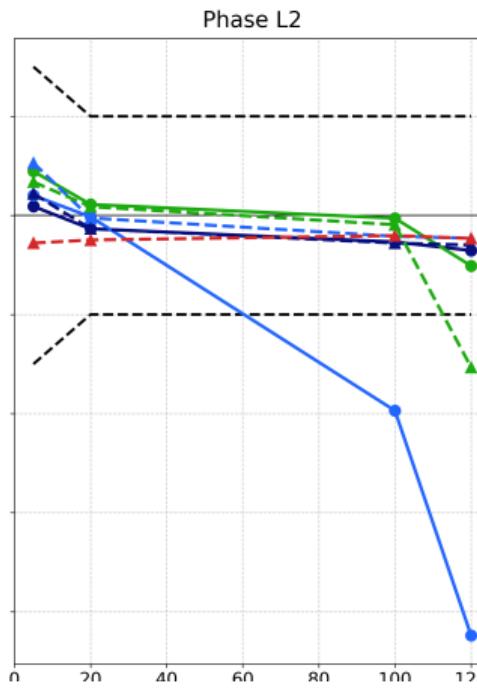
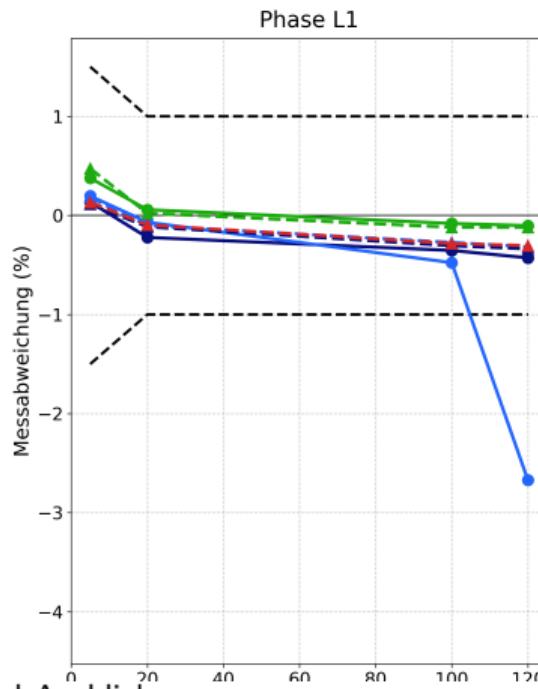
Ich stehe nun gerne für Ihre Fragen zur Verfügung.

# Anhang

# Anhang: Zusammenfassung 2000 A



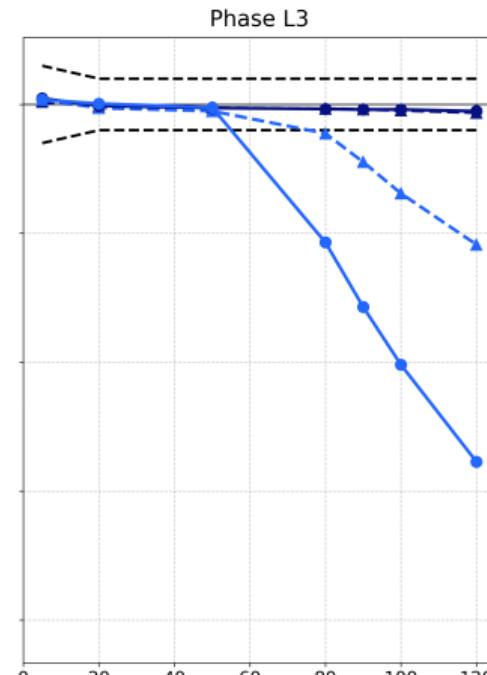
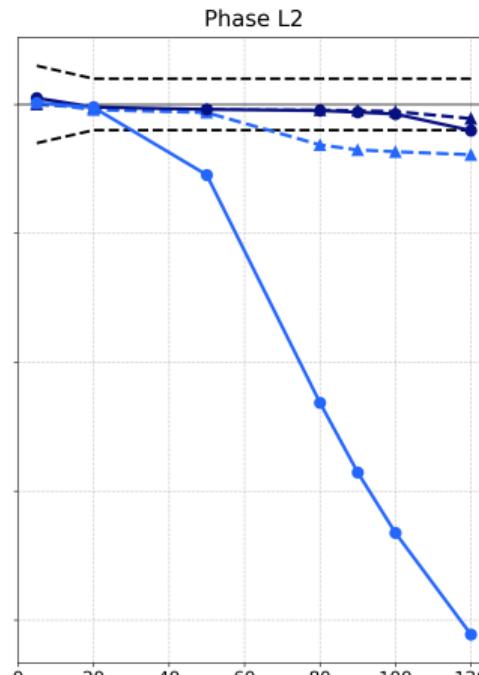
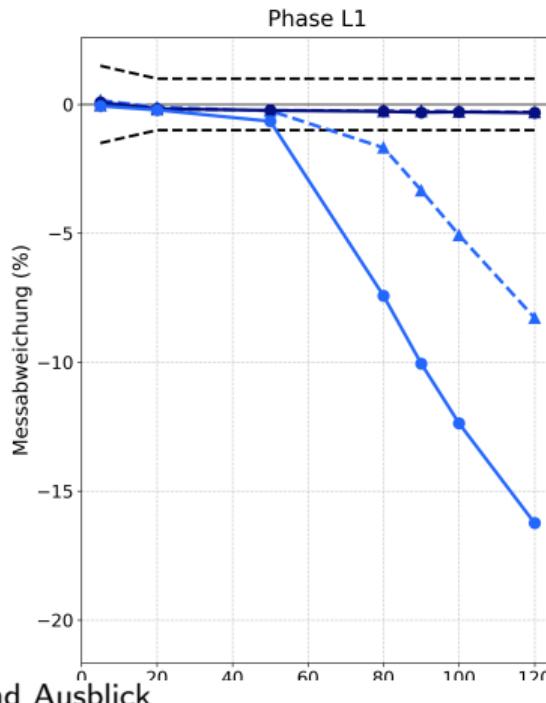
Fehlerverlauf bei 2000 A



# Anhang: Zusammenfassung 2500 A



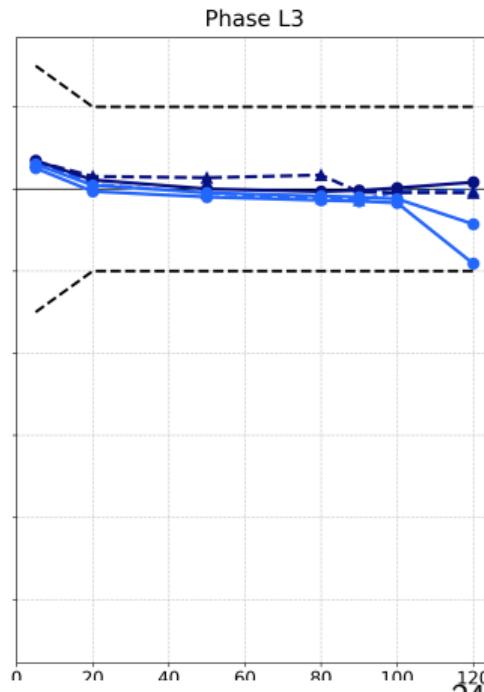
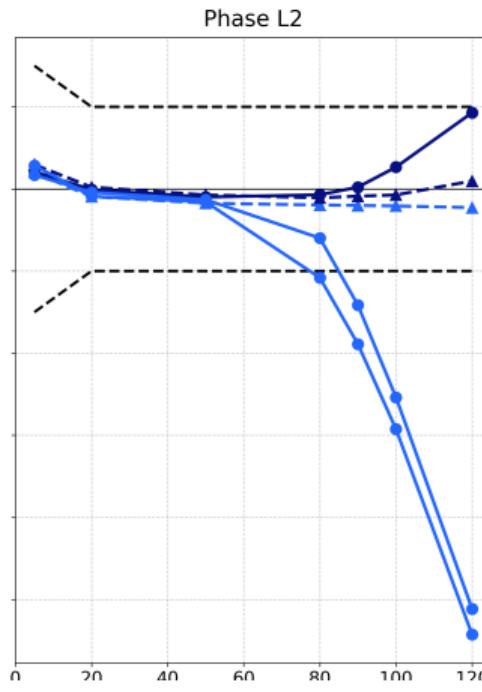
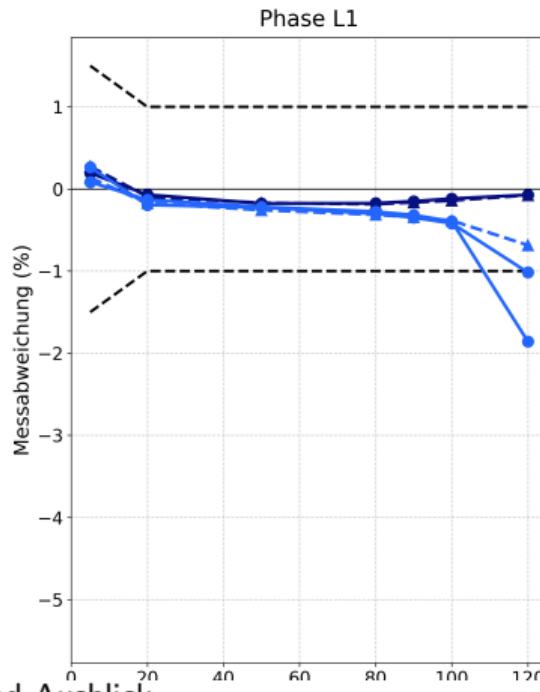
**Fehlerverlauf bei 2500 A**



# Anhang: Zusammenfassung 3000 A



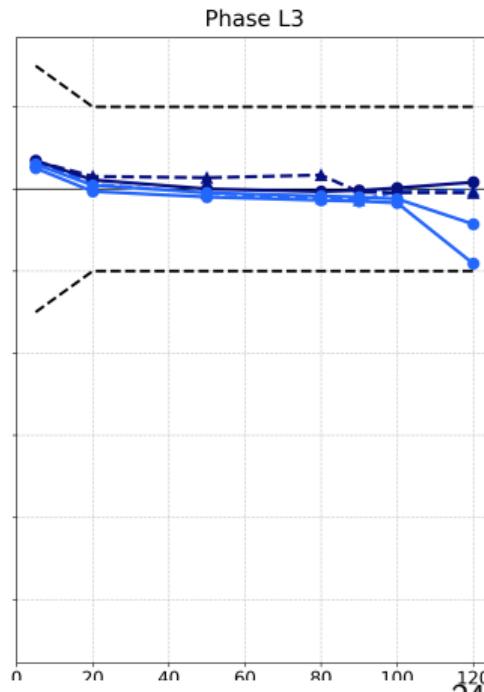
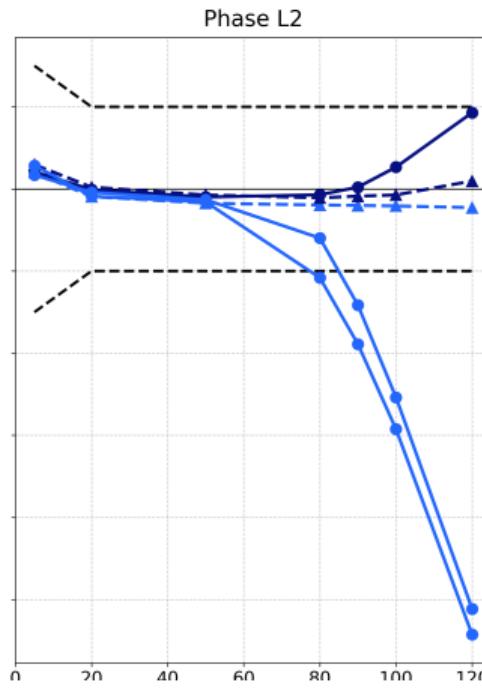
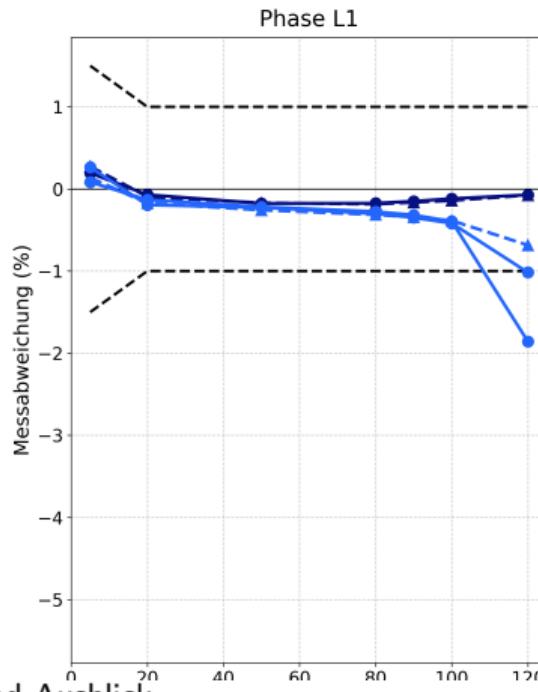
Fehlerverlauf bei 3000 A



# Anhang: Zusammenfassung 3000 A Bürde



Fehlerverlauf bei 3000 A



# Anhang: Zusammenfassung 4000 A



Fehlerverlauf bei 4000 A

