



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

### Wichtig / Note 1

- Begrüßung der Prüfer
- Vorstellung
- Thema: Stromwandler & Fremdfelder

Zeitplanung

00:00

bis

00:25

**Begrüßung:** Herzlich willkommen zur Präsentation meines Kolloquiums.

**Thema:** Das zentrale Thema meiner Bachelorarbeit war die Analyse der Messabweichung von Messstromwandlern, verursacht durch magnetische Fremdfelder.

**Kernfrage:** Ich habe untersucht, wie stark benachbarte Leiter die Messung in kompakten Schaltanlagen verfälschen und wie wir damit umgehen können.

**Überleitung:** Ich freue mich, Ihnen das Thema und meine Ergebnisse nun näherzubringen.



## Agenda

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

## Wichtig / Note 1

- Übersicht des Vortrags
- Roter Faden

Zeitplanung

00:25

bis

00:45

**Struktur:** Ich habe meine Präsentation in folgende Bereiche gegliedert, um Sie durch das Thema zu führen.

**Einleitung:** Ich beginne mit der Motivation und der Problemstellung. Daraus leite ich die konkrete Zielsetzung meiner Arbeit ab.

**Hauptteil:** Anschließend gehe ich kurz auf die theoretischen Grundlagen und den Versuchsaufbau ein. Im Kernteil präsentiere ich Ihnen dann die Messergebnisse und deren Analyse.

**Abschluss:** Zum Schluss fasse ich die Erkenntnisse zusammen und gebe einen Ausblick auf mögliche Handlungsfelder für die Zukunft.

## 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



## Kolloquium

### Wichtig / Note 1

- Mehr Leistung auf weniger Raum
- Physikalisches Problem: Fremdfelder
- L2 misst falsch

Zeitplanung

00:45

bis

01:35

**Trend** Schaltanlagen müssen heute immer leistungsfähiger werden, während der verfügbare Bauraum gleich bleibt oder sogar schrumpft. Wir bringen also mehr Strom auf weniger Fläche unter.

**Physik** Diese Kombination aus hohen Primärströmen und minimalen Abständen führt zwangsläufig zu starken magnetischen Fremdfeldern.

**Problem** Besonders die mittlere Phase L2 ist diesen Feldern von beiden Seiten ausgesetzt. Das führt zu einer verzerrten Messung und im schlimmsten Fall zur Sättigung des Wandlers.

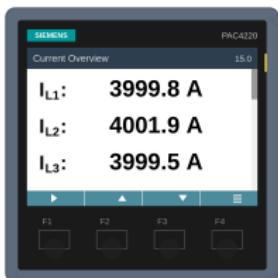
**Ziel** Meine Aufgabe war es daher, eine Lösung zu finden, die technisch robust gegen diese Störungen ist, aber wirtschaftlich im Rahmen bleibt.

## Problemstellung – Messabweichung

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

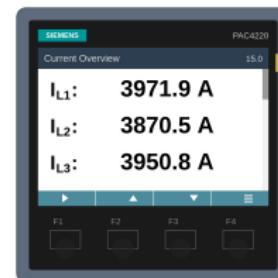
Grenzwert: Klasse 1

### 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  $\approx -1,230\%$

### Wichtig / Note 1

- L2:  $-3,2\%$  Fehler
- System verzerrt

Zeitplanung

01:35

bis

02:35

**Vergleich:** Hier sehen Sie den direkten Vergleich zwischen der präzisen Referenzmessung links und dem beeinflussten Prüfling rechts.

**Beobachtung:** Besonders in der hervorgehobenen Phase L2 bricht der Messwert ein und weist eine Abweichung von etwa 3,2 Prozent auf.

**Bewertung:** Dieser Fehler liegt weit außerhalb der zulässigen Toleranz von einem Prozent für die Genauigkeitsklasse 1.



## 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)

---

$\approx 47\,000 \text{ € / Jahr}$

### Wichtig / Note 1

- 130 A Untererfassung
- 47k€ Differenz

Zeitplanung

02:35

bis

03:20

**Messdifferenz:** Durch die Abweichung fehlen uns in der Phase L2 dauerhaft etwa 130 Ampere im gemessenen Stromwert, was wir als Untererfassung bezeichnen.

**Kosten:** Rechnet man diesen Fehler über die Formel für die Wirkleistung auf ein Jahr Dauerlast hoch, ergibt sich eine Abrechnungsdifferenz von knapp 47.000 Euro.

**Relevanz:** Dieser Wert gilt pro Abgangsfeld, was das wirtschaftliche Risiko für den Betreiber verdeutlicht.



## 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

### Kolloquium

### Wichtig / Note 1

- Leitfrage
- Vergleich & Empfehlung

### Zeitplanung

03:20

bis

03:45

**Leitfrage:** Meine Arbeit beantwortet die Frage, welche Kombination aus Technik und Geometrie die Klasse 1 sicherstellt, ohne die Kosten zu sprengen.

**Vorgehen:** Dazu analysiere ich die Fehler im System, vergleiche verschiedene Wandlertechnologien und prüfe geometrische Anpassungen.

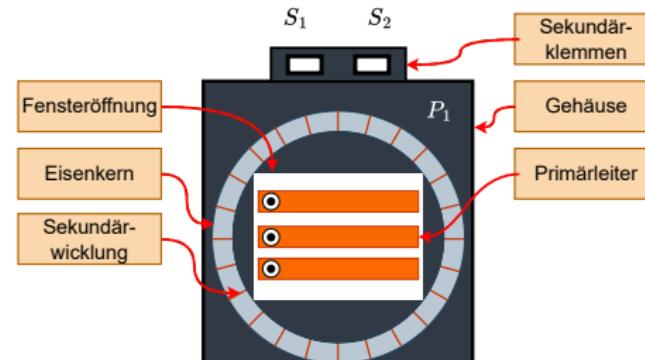
**Output:** Am Ende steht eine klare Handlungsempfehlung für die Konstruktion neuer Anlagen.

## Funktionsprinzip und Aufbau

## Kolloquium

Aufgaben des  
Messstromwandlers

- ▶ Transformation hoher Primärströme (1 A / 5 A)
- ▶ Galvanische Trennung
- ▶ Bündelung des magnetischen Flusses



Prinzipieller Aufbau eines Aufsteckstromwandlers

## Wichtig / Note 1

- Transformator-Prinzip
- Schutzfunktion

Zeitplanung

03:45

bis

04:25

**Einordnung** Ein Messstromwandler ist im Kern ein Transformator für Ströme: Aus mehreren 1000 A Primärstrom wird ein normierter Sekundärstrom von 1 A oder 5 A, den Schutzrelais und Zähler sicher verarbeiten können.

**Aufbau (Aufsteckwandler)** Die Kupferschiene bildet dabei praktisch eine *einige Primärwindung* ( $N_p = 1$ ). Um sie herum liegt der geschlossene Eisenkern mit der Sekundärwicklung  $N_s$ . Idealisierend gilt

$$I_s \approx \frac{N_p}{N_s} I_p, \quad I_p = N_s I_s + I_m.$$

Der Magnetisierungsstrom  $I_m$  ist der entscheidende Störanteil: Er

## 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.

### Wichtig / Note 1

- Sättigung des Kerns
- Messwert sinkt

### Zeitplanung

04:25

bis

05:05

**Superposition der Magnetfelder** In der Schaltanlage liegen die Leiter sehr dicht beieinander. Das Magnetfeld eines Leiters skaliert näherungsweise mit

$$H(r) \propto \frac{I}{r},$$

d. h. hoher Strom und kleiner Abstand sind die ungünstige Kombination. Diese Fremdfelder überlagern sich mit dem Nutzfeld des Wandlers (*Superposition*).

**Warum Phase L2 am stärksten betroffen ist** Die mittlere Phase L2 wird von zwei Nachbarleitern gleichzeitig beeinflusst. Dadurch entsteht am Wandlerkern eine unsymmetrische Flussverteilung: In einzelnen Hälften steht ein höherer Fluss im Norden als im Süden für die Phasenrichtung.

## Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

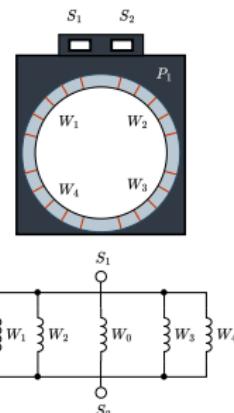
### Prinzip

- ▶ Zusatzwicklungen erzeugen Gegenfeld
- ▶ Aktive Fehlerkompensation

### Pro / Contra

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

## Kolloquium



Prinzip der Kompensationswicklung

### Wichtig / Note 1

- Gegenfeld erzeugen
- Aber: Teuer & Groß

### Zeitplanung

05:05  
bis  
05:40

**Kompensation** Kompensierte Wandler nutzen Hilfswicklungen auf dem Kern, um aktiv ein magnetisches Gegenfeld zu erzeugen.

**Vorteil** Dadurch wird die Sättigung des Eisenkerns verhindert, was zu sehr präzisen Messergebnissen führt.

**Nachteil** Diese Technik ist jedoch spürbar teurer und benötigt Bauraum, der in unseren kompakten Anlagen oft nicht vorhanden ist.

## Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

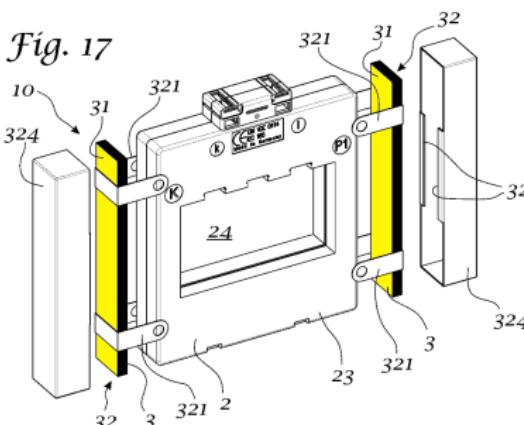
### Konstruktive Optimierung

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

### Zielsetzung

- ▶ Einhaltung Genauigkeitsklasse 1
- ▶ Schutz vor partieller Sättigung

## Kolloquium



Quelle: Patent DE102021106843A1

(Redur)

### Wichtig / Note 1

- Schirmung = Umleitung
- Nachrüstbar

### Zeitplanung

05:40  
bis  
06:20

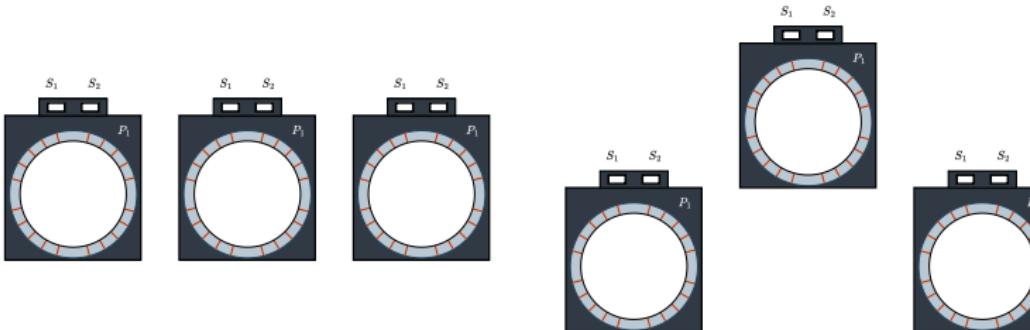
**Konzept** Die FFP-Technologie setzt auf einen ferromagnetischen Schirm, der hier gelb dargestellt ist, um den Messkern zu schützen.

**Wirkung** Dieser Schirm fängt externe Magnetfelder ein und leitet den Störfluss gezielt am eigentlichen Messkern vorbei.

**Nutzen** Ein großer Vorteil dieser Lösung ist, dass sich Standardwandler damit kostengünstig nachrüsten lassen.

## Lösungsansatz: Dreiecksanordnung

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



## Kolloquium

### Wichtig / Note 1

- L2 versetzt (Dreieck)
- Symmetrische Abstände
- Feldkompensation

Zeitplanung

06:20

bis

07:05

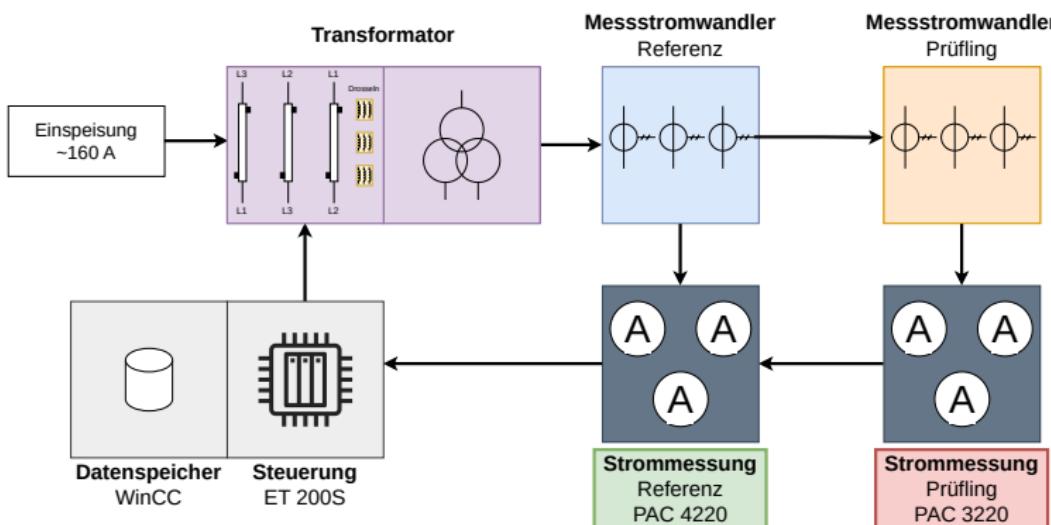
**Realisierung** Dieses Foto zeigt die praktische Umsetzung der geometrisch optimierten Leiterführung direkt im Schaltschrank.

**Konstruktion** Anstatt alle Schienen flach nebeneinanderzuführen, haben wir die mittlere Phase L2 räumlich um 140 Millimeter versetzt angeordnet.

**Effekt** Durch das entstehende gleichschenklige Dreieck heben sich die magnetischen Vektoren im Zentrum gegenseitig auf, was den Störeinfluss physikalisch minimiert.

## Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

## Schematischer Aufbau der automatisierten Messstrecke



## Wichtig / Note 1

- Referenz -> Trafo -> 4kA
- Synchrone Messung
- WinCC Erfassung

Zeitplanung

07:05

bis

07:55

**Ziel des Aufbaus** Damit die Unterschiede zwischen Wendlern, FFP und Geometrie wirklich vergleichbar sind, muss die Messung reproduzierbar und synchron sein: *gleicher Strom, gleiche Temperaturbedingungen, gleiche Auswertung*.

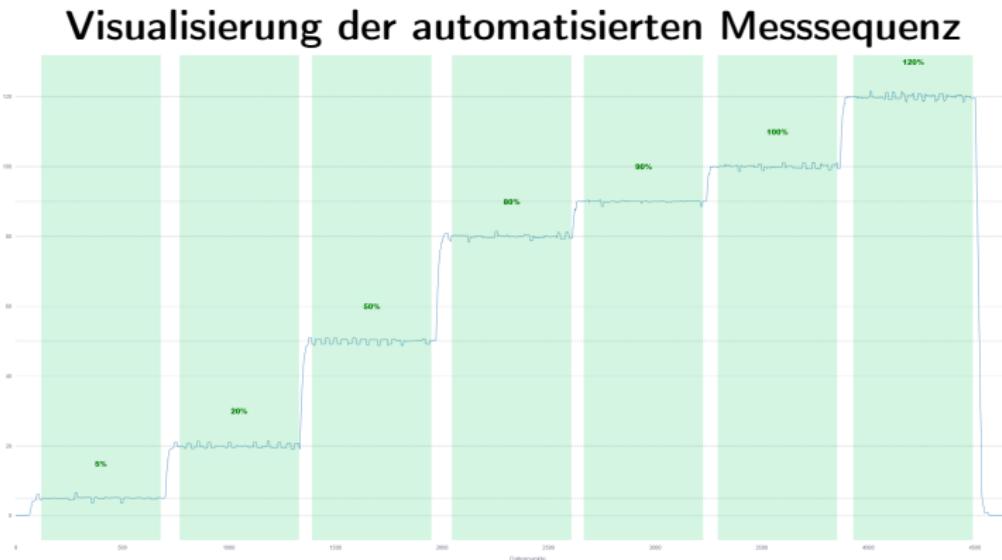
**Messkette / Signalfluss** Wir erzeugen den hohen Prüfstrom über den Hochstromtrafo und regeln ihn stufenweise bis 4000 A. Parallel dazu messen wir synchron:

- **Referenz:** PAC 4220 (hohe Genauigkeit) als "Wahrheit".
- **Prüfling:** PAC 3220 + der jeweils getestete Stromwandler.

Aus der Differenz zwischen Referenz und Prüfling erhalten wir direkt

## Lastprofil und Prüfablauf

### Kolloquium



### Wichtig / Note 1

- Treppenstufen = Lastpunkte
- Reproduzierbarkeit
- Menschlicher Fehler ausgeschlossen

Zeitplanung

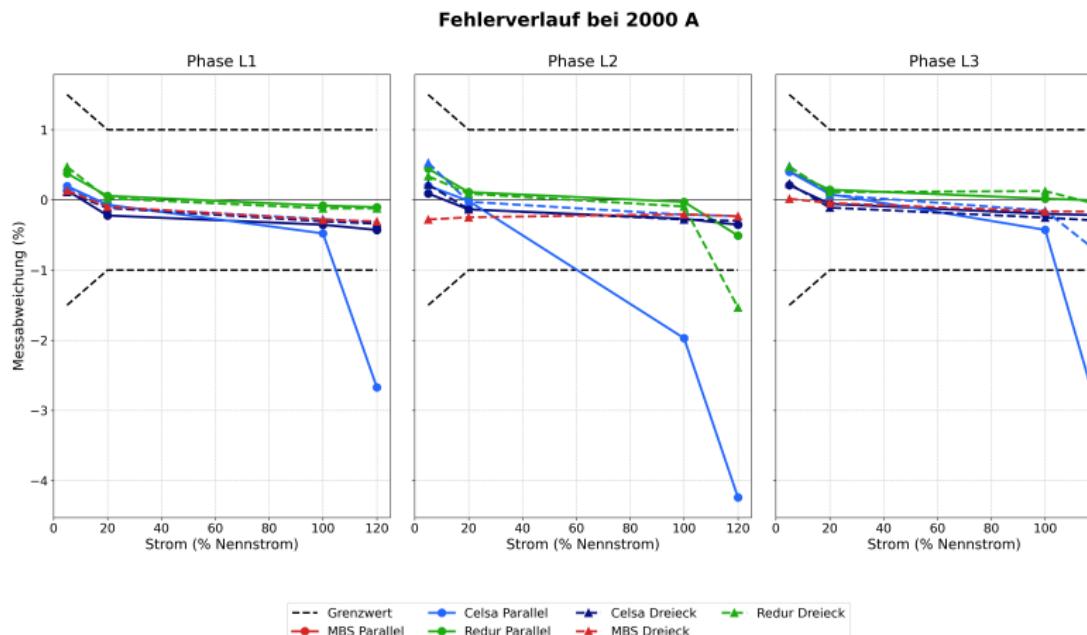
07:55  
bis  
08:40

**Das Lastprofil** Hier sehen Sie den »Herzschlag« unserer Messung – die direkte Aufzeichnung des Primärstroms aus dem Leitsystem.

**Verfahren** Wir fahren vollautomatisiert feste Lastpunkte an: Von 5 % Teillast bis hinauf zu 120 % Überlast. Die Plateaus zeigen die Haltezeiten, in denen sich die Messwerte einschwingen.

**Relevanz** Das ist entscheidend für die wissenschaftliche Qualität: Jeder Wandler wird exakt demselben Stressprofil ausgesetzt. Menschliche Ablesefehler oder Schwankungen am Regeltrafo sind durch die SPS-Steuerung ausgeschlossen.

## Genauigkeitsmessung bei 2000 A (Linearer Bereich)



## Wichtig / Note 1

- Referenzmessung im Nennbereich
- Alle Wandler arbeiten präzise
- Kaum Unterschiede zwischen Parallel und Dreieck

Zeitplanung

08:40  
bis  
10:05

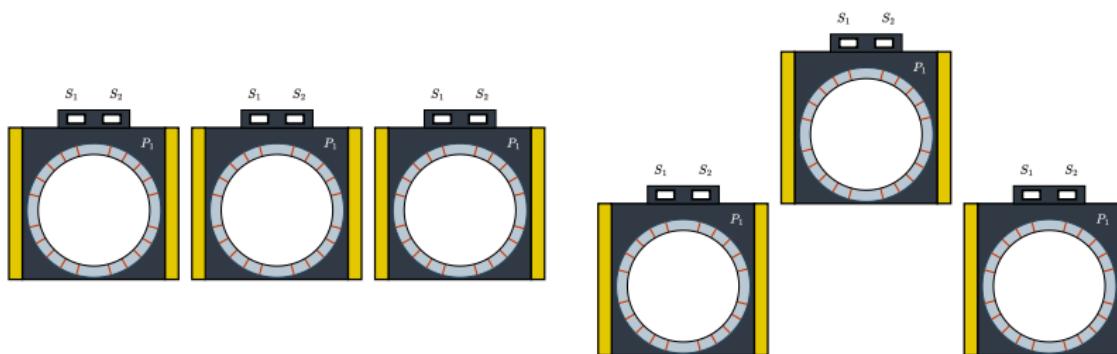
**Baseline bei 2000 A** Diese Messung dient als Referenz im weitgehend linearen Bereich: Die Kurven liegen eng um 0 %, Fremdfeld- und Sättigungseffekte sind hier noch klein.

**So liest man die Kurven** Durchgezogen = Parallel, gestrichelt = Dreieck (gleicher Wandler, andere Geometrie). Wichtig ist besonders L2, weil dort später der stärkste Fremdfeldeinfluss zu erwarten ist.

**Überleitung** Wenn bei 4000 A starke Abweichungen auftreten, ist das damit klar als physikalischer Nichtlinearitäts-/Sättigungseffekt einzuordnen – nicht als Messstreuung.

## Kolloquium

## Aufbau FFP-Wandler (kompensiert)



## Wichtig / Note 1

- Referenzmessung im Nennbereich
- Alle Wandler arbeiten präzise
- Kaum Unterschiede zwischen Parallel und Dreieck

Zeitplanung

05:40

bis

06:10

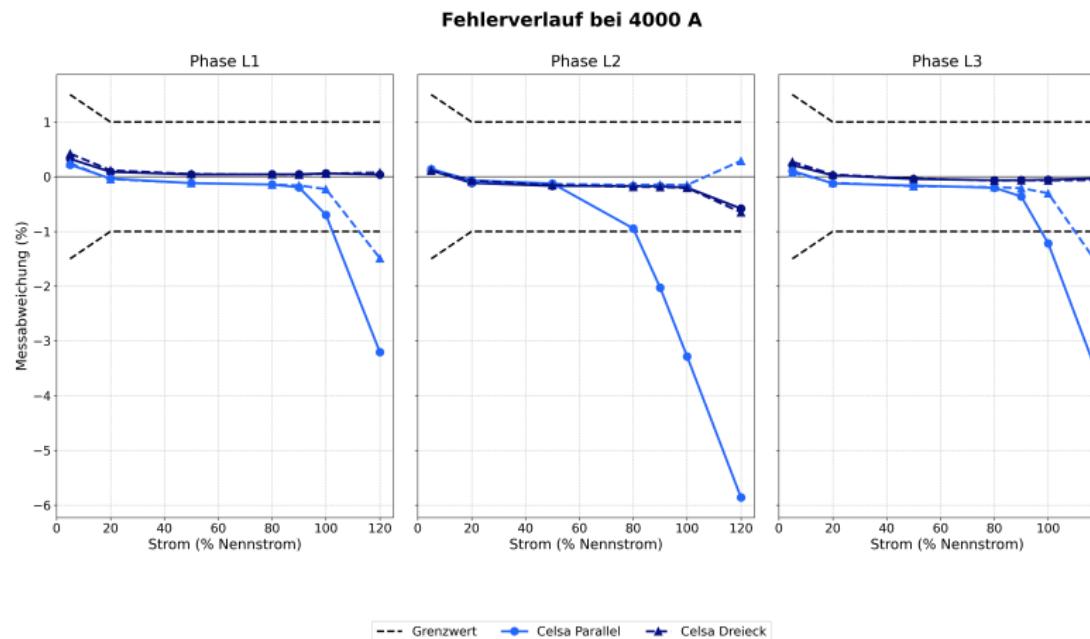
**Was sieht man in der Skizze?** Der Primärleiter erzeugt das Hauptmagnetfeld im Ringkern. Die zusätzlichen Wicklungen detektieren Streufelder und führen über die Kompensationswicklung ein gezieltes Gegenfeld ein.

**Physikalische Idee** Dadurch bleibt der resultierende Fluss im Eisenkern näher am linearen Bereich. Die lokale Sättigung – insbesondere bei asymmetrischen Feldverteilungen – wird reduziert.

**Einordnung** Das ist eine aktive, konstruktive Lösung. Im späteren Vergleich prüfen wir, ob eine rein geometrische Maßnahme (Dreieksanordnung der Leiter) einen ähnlichen Effekt erzielen kann – jedoch ohne Zusatzwicklung und ohne Mehrkosten.

## Kolloquium

## Genauigkeitsmessung bei 4000 A (Kritischer Bereich)



## Wichtig / Note 1

- 4000 A = Extremfall
- Parallel zeigt Totalausfall (Absturz der Kurve)
- Dreieck hält die Genauigkeit deutlich länger

Zeitplanung

10:05  
bis  
11:45

**Eskalation auf 4000 A** Im direkten Vergleich sehen wir nun die drastischen Effekte bei 4000 Ampere.

**Analyse** Achten Sie auf die hellblaue Linie in der Mitte (Phase L2, Parallel). Der Fehler stürzt komplett ab auf unter -6 %. Das ist messtechnisch ein Totalausfall durch Sättigung.

**Lösung** Die Dreiecksanordnung (dunkelblau gestrichelt) kommt zwar auch an ihre Grenzen, bleibt aber noch stabil genug, um nutzbare Werte zu liefern. Der Unterschied zur vorherigen Folie ist massiv.

## 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.

**Wichtig / Note 1**

- 4000 A = Extremfall
- Parallel zeigt Totalausfall (Absturz der Kurve)
- Dreieck hält die Genauigkeit deutlich länger

Zeitplanung

11:45

bis

12:40

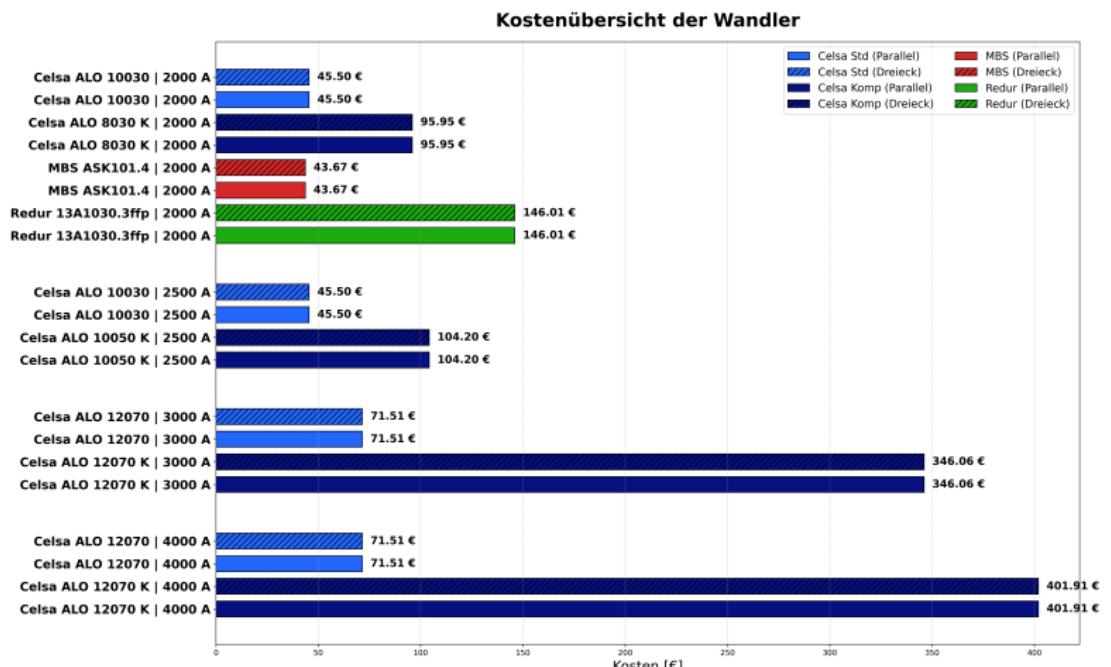
**Warum diese Kennzahlen?** Die Diagramme enthalten viele Lastpunkte und drei Phasen. Um daraus eine *vergleichbare Aussage* pro Wandler und Geometrie abzuleiten, verdichten wir die Kurven auf wenige robuste Kennzahlen.

**1) Mittlerer Gesamtfehler  $E_{\text{total}}$**  Wir mitteln über:

- alle **Lastpunkte** (5 % bis 120 %),
- alle **Phasen** (L1, L2, L3),

und verwenden den **Betrag**  $|F_{\text{Messwert}}|$ , damit sich positive/negative Fehler nicht gegenseitig "schönrechnen". Das Ergebnis ist ein einziger Basiswert pro Messaufbau: *Wie groß ist der typische Fehler im Betrieb?*

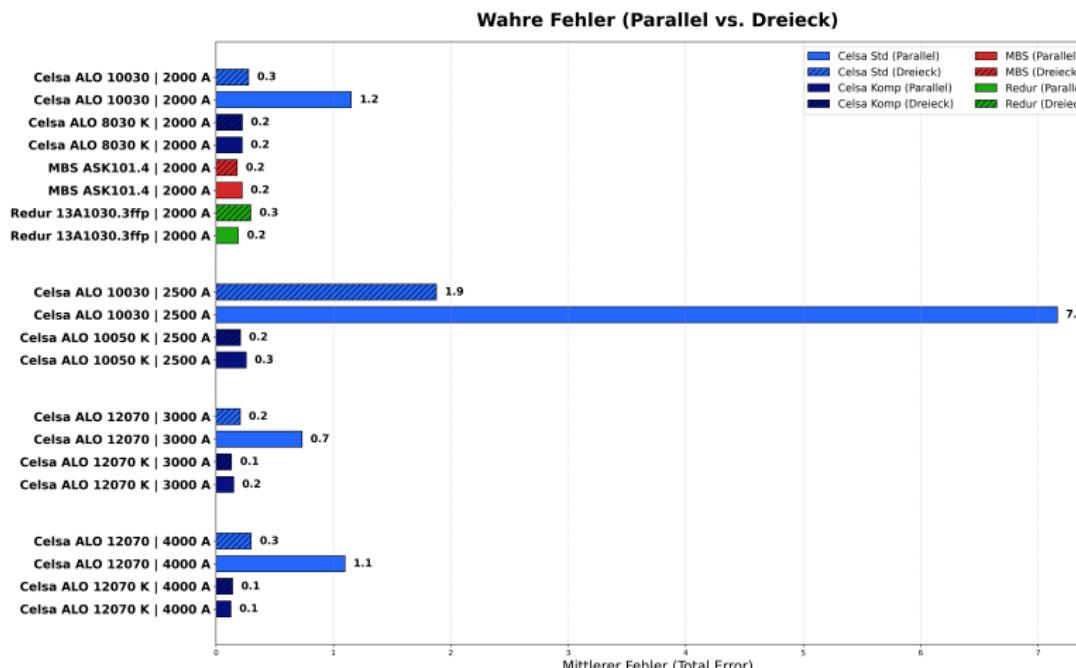
## Wirtschaftliche Einordnung der Wandler



## Wichtig / Note 1

- Standardwandler sind sehr günstig
- Kompensierte Wandler kosten ein Vielfaches
- Preisschere öffnet sich bei hohen Strömen

## Gesamtfehler im Vergleich: Parallel vs. Dreieck



## Wichtig / Note 1

- Volle Balken sind Parallelanordnung
- Schraffierte Balken sind Dreiecksanordnung
- Massive Reduktion der Balkenlänge durch Dreieck

Zeitplanung

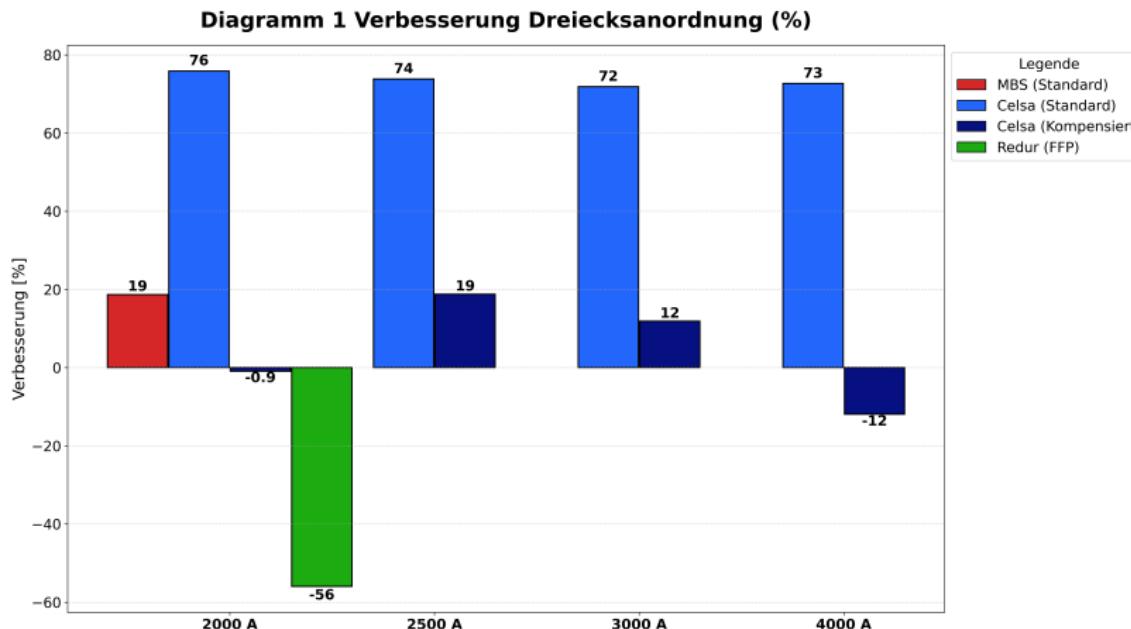
13:30  
bis  
14:50

**Analyse der absoluten Fehler** Dieses Diagramm zeigt die summierten Fehlerwerte über alle Messpunkte.

**Lesehilfe** Die vollen Balken repräsentieren die klassische Parallelanordnung. Die schraffierte Balken zeigen denselben Wandler in der optimierten Dreiecksanordnung.

**Erkenntnis** Man sieht auf den ersten Blick, dass die schraffierte Balken fast überall deutlich kürzer sind. Besonders beim Celsa Standardwandler bei 2500 Ampere fällt der Fehler von über 7 auf unter 2 Einheiten. Die Geometrie wirkt hier wie ein physischer Filter gegen Störfelder.

## Wirksamkeit der geometrischen Optimierung



## Wichtig / Note 1

- Relative Fehlerreduktion durch Geometrie
- Über 90 Prozent Verbesserung bei 3000 A
- Standardwandler zeigen größten Effekt

Zeitplanung

14:50  
bis  
15:55

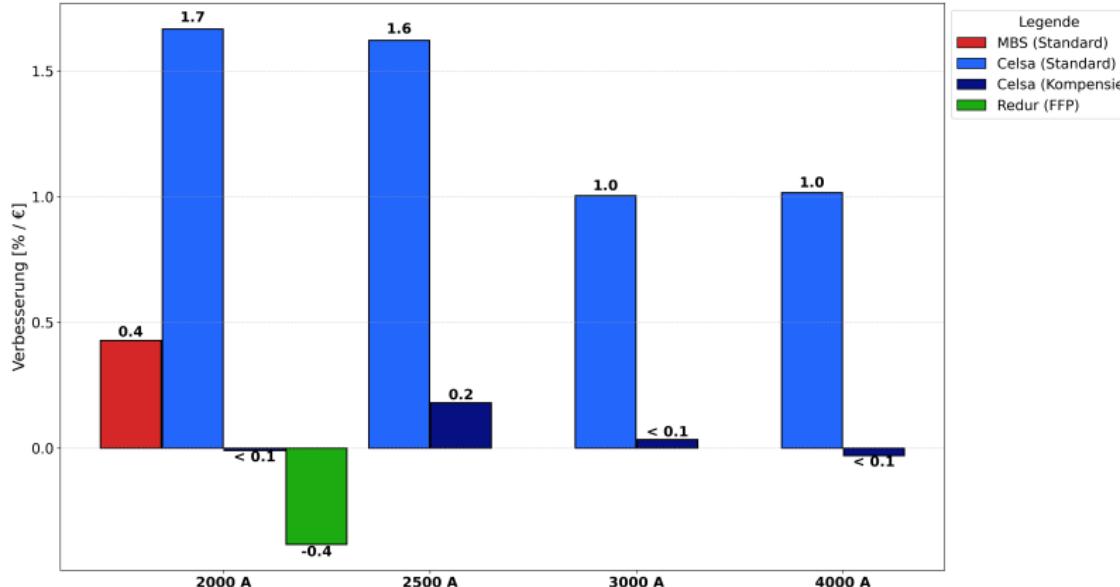
**Geometrische Optimierung** Hier sehen wir die prozentuale Fehlerreduktion durch den Wechsel von Parallelanordnung auf Dreiecksanordnung.

**Beobachtung** Besonders bei 3000 Ampere zeigen sich hohe Werte. Das bedeutet hier eliminiert die Dreiecksanordnung fast den gesamten Fehler der in der Parallelanordnung auftrat.

**Schlussfolgerung** Der Standardwandler profitiert am stärksten von der geometrischen Anordnung und erreicht dadurch fast die Güte der teureren Systeme.

## Ökonomische Bewertung der Maßnahmen

Diagramm 2 Wirtschaftlichkeit Dreieck (% pro €)



## Wichtig / Note 1

- Verbesserung normiert auf Investitionskosten
- Hohe Effizienz bei günstigen Wandlern
- Teure Systeme profitieren weniger stark

15:55

bis

16:50

**Wirtschaftliche Analyse** Wenn wir die technische Verbesserung in Relation zum Kaufpreis setzen ändert sich das Bild.

**Ergebnis** Da die Standardwandler sehr günstig sind ist ihr Gewinn an Genauigkeit pro investiertem Euro sehr hoch. Die FFP Wandler sind zwar technisch führend aber der relative Gewinn durch die Geometrie fällt kaufmännisch weniger ins Gewicht da die Basiskosten bereits höher sind.

## Bewertung der Lösungsansätze

### 1. Kompensierte Wandler

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

### Empfehlung



Dreieck

Neu: Dreieck

Bestand: FFP

Präzise: Kompensiert

### 2. Fremdfeld-Protektion (FFP)

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

### 3. Dreiecksanordnung (Standard)

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

## Kolloquium

### Wichtig / Note 1

- Kompensiert: Präzise aber teuer
- FFP: Lösung für Bestand
- Dreieck: Wirtschaftlichste Lösung

### Zeitplanung

16:50

bis

17:30

**Bewertung** Alle Technologien korrigieren die L2-Verzerrung wirksam, unterscheiden sich aber im Einsatzgebiet:

**Kompensierte Wandler** Technisch führend mit maximaler Genauigkeit, jedoch um den Faktor 2 bis 6 teurer.

**FFP-Technologie** Ideal zur Nachrüstung in Bestandsanlagen, sofern die Ausrichtung zum Magnetfeld stimmt.

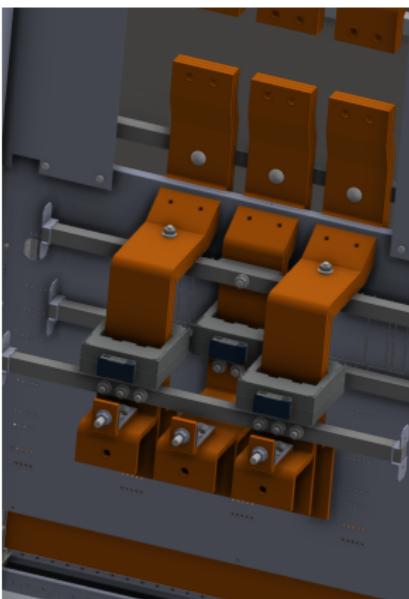
**Dreiecksanordnung** Der Preis-Leistungs-Sieger. Durch die Geometrie erfüllen günstige Standardwandler sicher die Norm.

## 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

## Kolloquium

### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

### Zeitplanung

17:30  
bis  
18:00

**Bewertung der Dreiecksanordnung** Die Dreiecksanordnung in Kombination mit günstigen Standardwandlern zeigt sich in unseren Messungen als wahrer Preis-Leistungs-Gewinner.

**Funktionsweise** Durch die einfache geometrische Verschiebung der mittleren Phase konnten wir die Messwerte im Nennstrombereich direkt verbessern. Die starke Verzerrung auf dem Leiter L2 wird physikalisch kompensiert.

**Ergebnis** Damit ist es möglich, die geforderte Norm einzuhalten, ohne auf teure Spezialwandler zurückgreifen zu müssen.



## Kolloquium

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

Ich stehe nun gerne für Ihre Fragen zur Verfügung.

### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

Zeitplanung

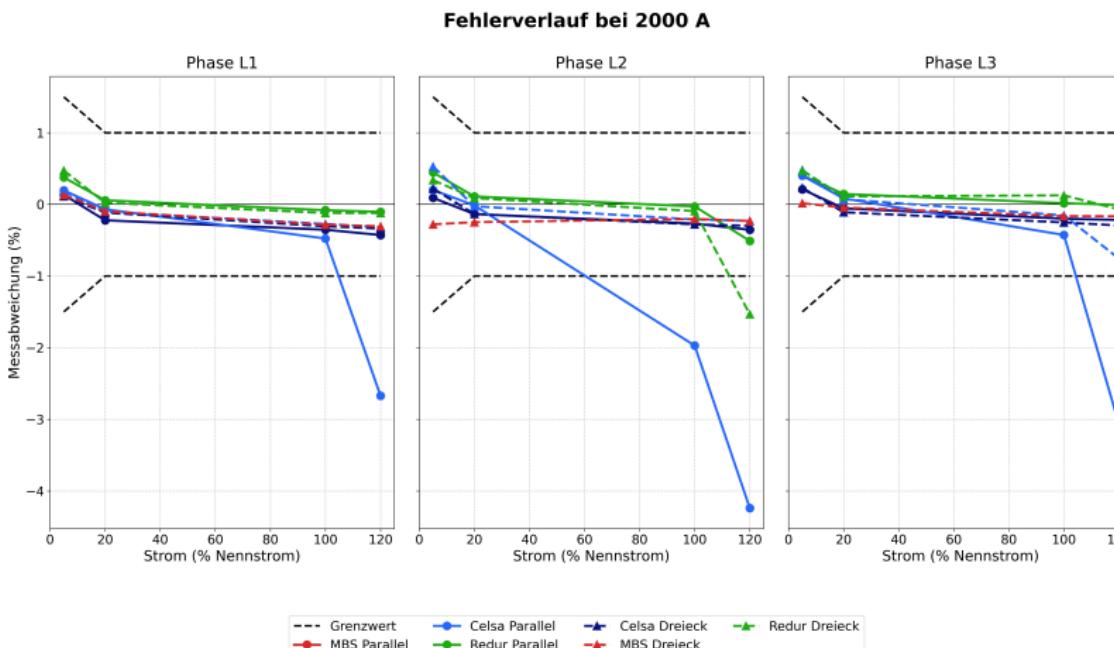
17:30

bis

18:00

## Kolloquium

### Anhang: Zusammenfassung 2000 A



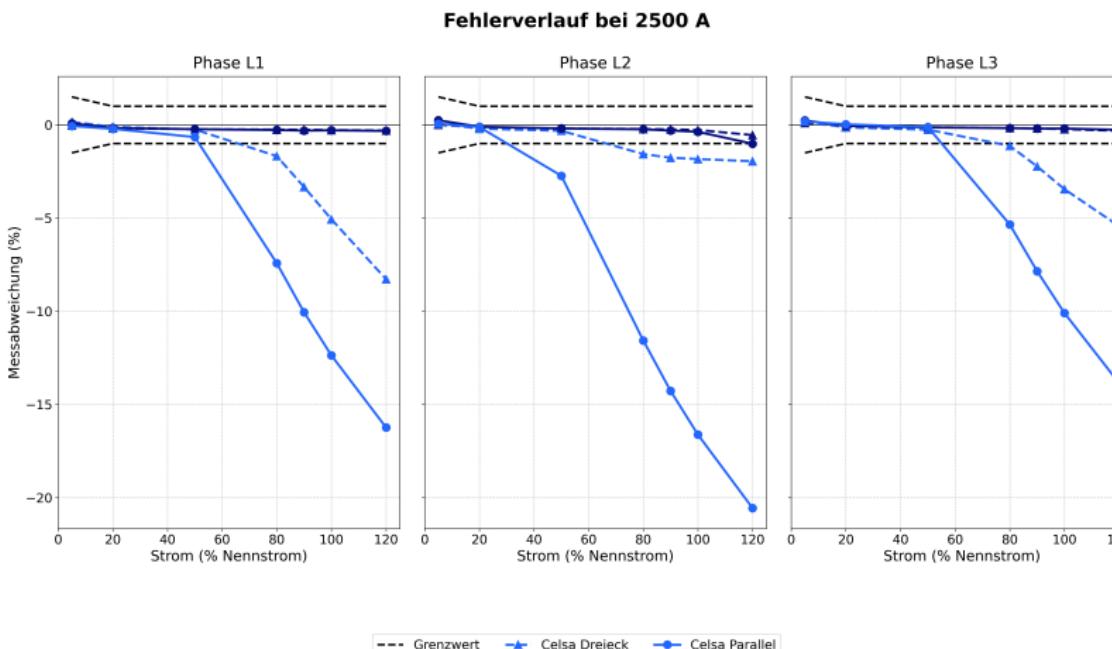
### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

Zeitplanung  
17:30  
bis  
18:00

## Kolloquium

### Anhang: Zusammenfassung 2500 A



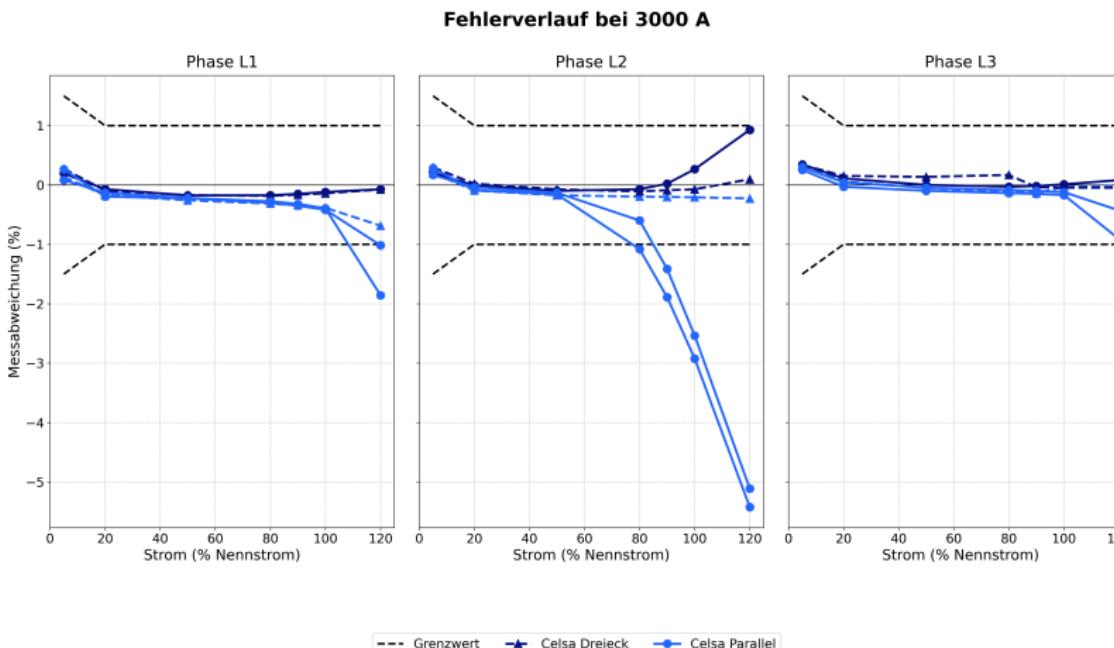
### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

Zeitplanung  
17:30  
bis  
18:00

## Kolloquium

### Anhang: Zusammenfassung 3000 A



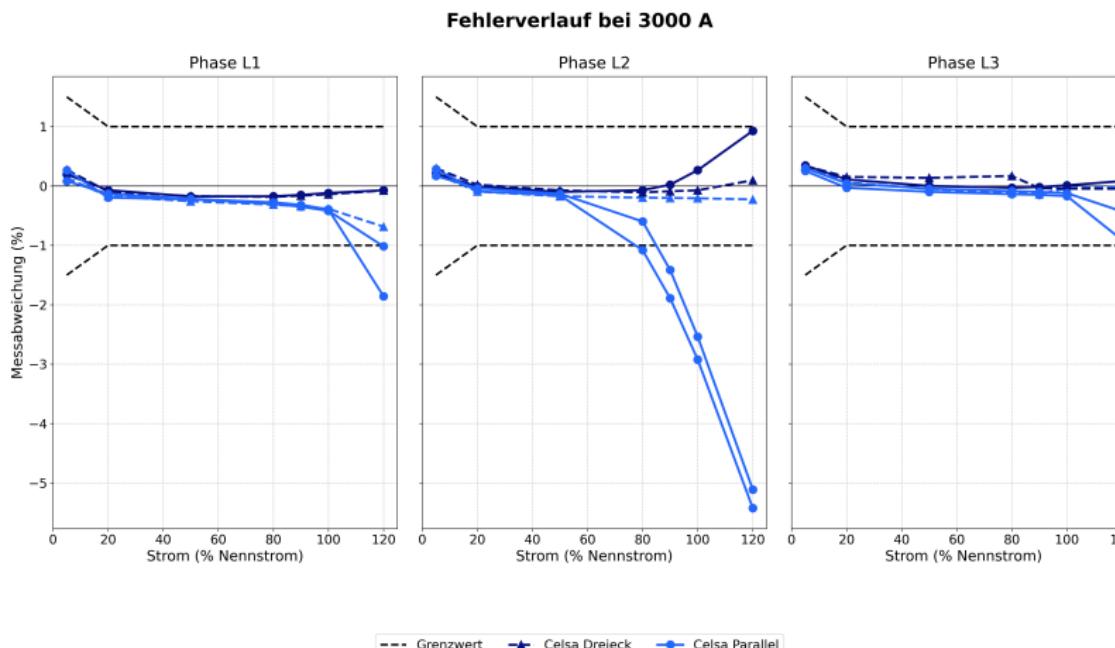
### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

Zeitplanung  
17:30  
bis  
18:00

## Kolloquium

### Anhang: Zusammenfassung 3000 A Bürde



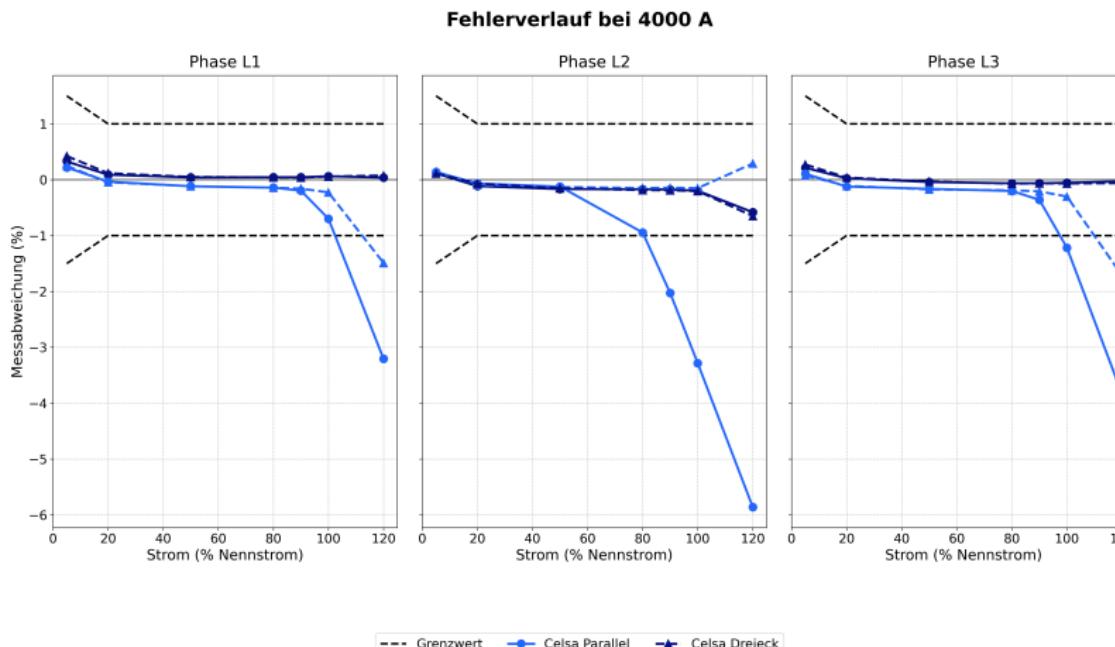
### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

Zeitplanung  
17:30  
bis  
18:00

## Kolloquium

### Anhang: Zusammenfassung 4000 A



### Wichtig / Note 1

- Einfache Verschiebung
- Große Wirkung
- Kosteneffizienteste Lösung

Zeitplanung  
17:30  
bis  
18:00