



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE  
EMDEN·LEER



Rolf Janssen GmbH  
Elektrotechnische Werke

# Fremdfeldbeeinflussung auf Messstromwandler in Niederspannungsschaltanlagen

Oliver-Luca Schmidt

Betreuung:

Dr.-Ing. Sandro Günter

Dipl.-Ing. Rainer Ludewig

25. November 2025

## Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

00:00

bis

00:30

- **Begrüßung:** Herzlich willkommen zur Präsentation meines Kolloquiums.
- **Thema:** Messabweichung von **Messstromwandlern** durch **magnetische Fremdfelder** in kompakten Schaltanlagen.
- **Kernfrage:** Wie stark verfälschen Nachbarleiter die Messung → und welche **Gegenmaßnahmen** sind technisch & wirtschaftlich sinnvoll?
- **Überleitung:** Kurz die Agenda, dann Motivation, Lösungsansätze und Ergebnisse.

# Agenda



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

## Wichtig / Note 1

- Übersicht des Vortrags
- Roter Faden

Zeitplanung

00:30

bis

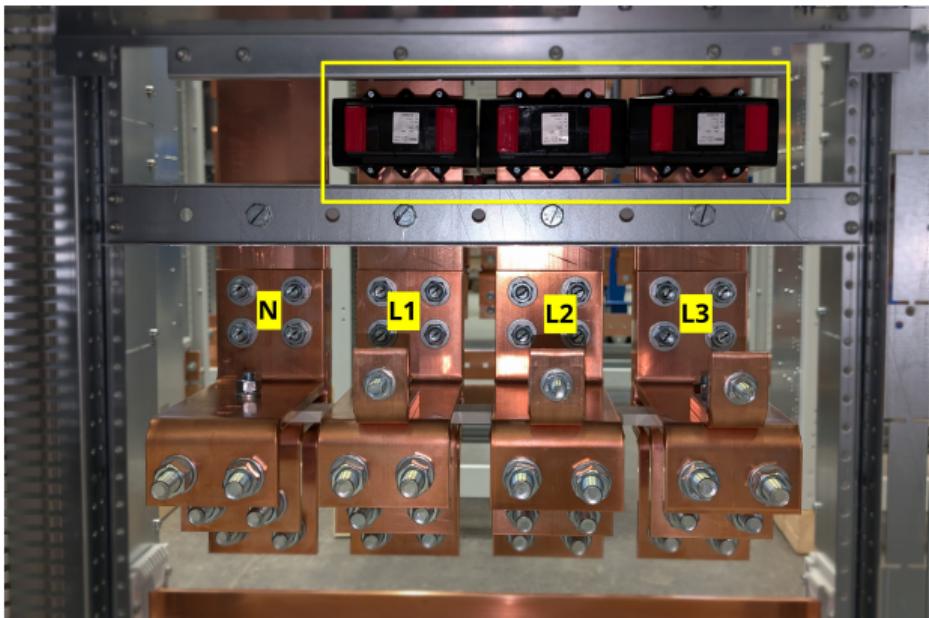
01:30

- **Roter Faden:** Vom **Problem** (Fremdfeld) zur **Lösung** (Technik/Geometrie) und zur **Bewertung**.
- **Einleitung:** Motivation → Messabweichung → wirtschaftliche Relevanz.
- **Grundlagen:** Wandlerprinzip, Fremdfeldeinfluss und Lösungshebel.
- **Ergebnisse:** Prüfstand → Messkurven → Vergleich der Varianten.
- **Abschluss:** Kernaussagen und Empfehlung für die Neukonstruktion.

# Motivation und Problemstellung



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



Kompakte Feldverteilung

## Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

01:30

bis

02:15

- **Trend:** Mehr **Leistungsdichte** → höhere Ströme bei weniger Bauraum.
- **Ursache:** Kleine Leiterabstände ⇒ starke **magnetische Fremdfelder**.
- **Worst Case:** **L2** wird von beiden Nachbarphasen überlagert ⇒ stärkste Einkopplung.
- **Konsequenz:** **Sättigung** des Kerns → Sekundärstrom sinkt → **Unter erfassung**.
- **Ziel:** Robustheit gegen Fremdfeld bei vertretbaren **Kosten** und **Verfügbarkeit**.

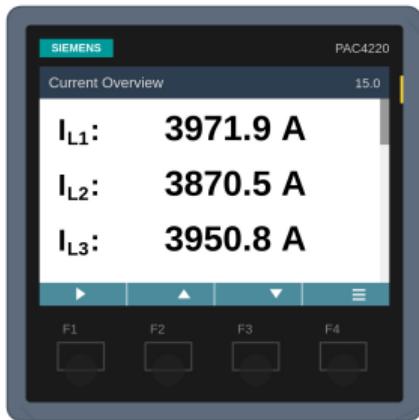
# Messabweichung & wirtschaftliche Relevanz



Referenz (Kl. 0,2S)

Ergebnis (Fokus):

L2: 0,047 %



Prüfling (Kl. 1,0)

Ergebnis (Fokus):

L2: -3,24 %

**Wirtschaftlicher Verlust**  
≈ 50 000 € / Jahr  
(Beispielrechnung, Dauerlast)

## Wichtig / Note 1

- PAC-Vergleich: Referenz vs. Prüfling
- Worst Case L2:  $\varepsilon \approx -3,24\%$
- $\approx 50\,000\text{ €} / \text{Jahr}$  (Beispiel)

Zeitplanung

02:15

bis

04:00

- **Vergleich:** Referenz (Kl. 0,2S) vs. Prüfling (Kl. 1,0) bei 4000 A.
- **Worst Case: L2** zeigt  $\varepsilon \approx -3,24\%$   $\Rightarrow$  deutliche **Untererfassung**.
- **Relevanz:** Bei Verrechnung/Monitoring summiert sich der Fehler  $\rightarrow$  **realer Kostenhebel**.
- **Point (mit Augenzwinkern):** „weniger erfasst  $\Rightarrow$  scheinbar gespart“  $\rightarrow$  für **Abrechnung** und **Schutz** aber kritisch.

# Zielsetzung der Arbeit



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

## Wichtig / Note 1

- Leitfrage
- Vergleich & Empfehlung

Zeitplanung

04:00

bis

04:30

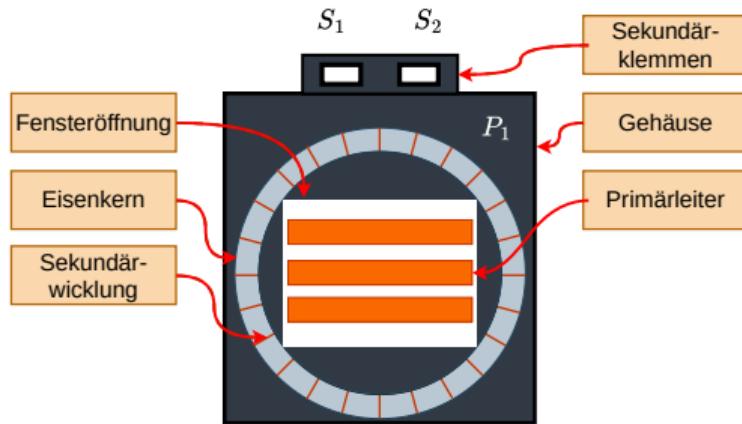
- 
- **Analyse:** Fehlermechanismen im **Drehstromsystem** (insb. L2) systematisch verstehen.
  - **Vergleich:** **Standard, kompensierte** und **Spezial**-Wandler sowie Geometrievarianten.
  - **Bewertung:** Normkonformität, Robustheit gegen Fremdfeld und wirtschaftliche Randbedingungen.
  - **Output:** Konkrete **Handlungsempfehlung** 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

## Wichtig / Note 1

- Transformator-Prinzip
- Schutzfunktion

Zeitplanung

05:00

bis

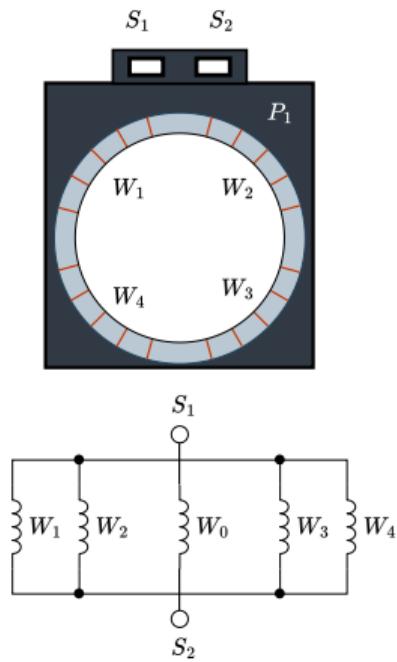
05:45

- **Messstromwandler:** Stromtransformator → hoher Primärstrom auf 1 A/5 A skaliert, mit **galvanischer Trennung**.
- **Aufsteckprinzip:** Kupferschiene  $N_p = 1$ , Sekundärwicklung  $N_s \Rightarrow$  Übersetzung über Windungsverhältnis.
- **Sättigung:** Kern nahe Sättigung  $\Rightarrow$  Magnetisierungsstrom  $I_m \uparrow \Rightarrow I_s \downarrow \rightarrow$  **Untererfassung**.
- **Fremdfeld:** zusätzlicher Störfluss addiert zum Nutzfluss (kritisch bei **L2**) → Sättigung früher; **Bürde** beeinflusst den Einsatzpunkt.

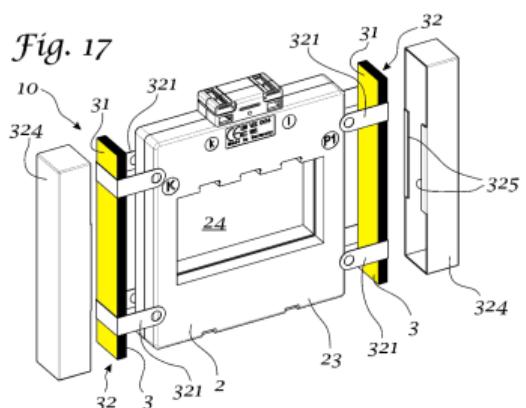
# Technologievergleich



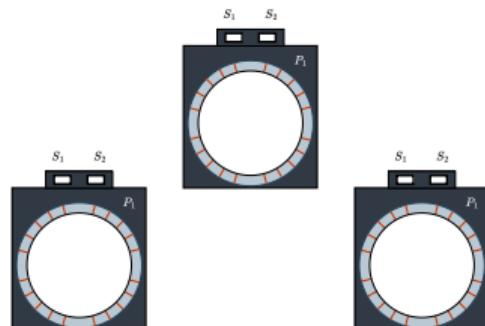
Kompensiert



FFP



Dreieck (Standardwandler)



Quelle: Patent DE102021106843A1 (Redur)

## Wichtig / Note 1

- Drei Lösungswege: Wandlertechnik / Schirmung / Geometrie

Zeitplanung

05:45

bis  
07:15

- (1) **Kompensation** (Gegenfeld) → beste **Stabilität**, aber teuer/**Verfügbarkeit**.
- (2) **FFP** (Störfluss umlenken) → guter **Kompromiss**, braucht **Bauraum**.
- (3) **Dreieck** (Geometrie) → reduziert **L2-Einkopplung**, nutzt **Standardwandler**.
- **Überleitung:** Bewertung nach **Normrobustheit** vs. **Kosten**.

# Physikalisches Problem: Fremdfeldeinfluss

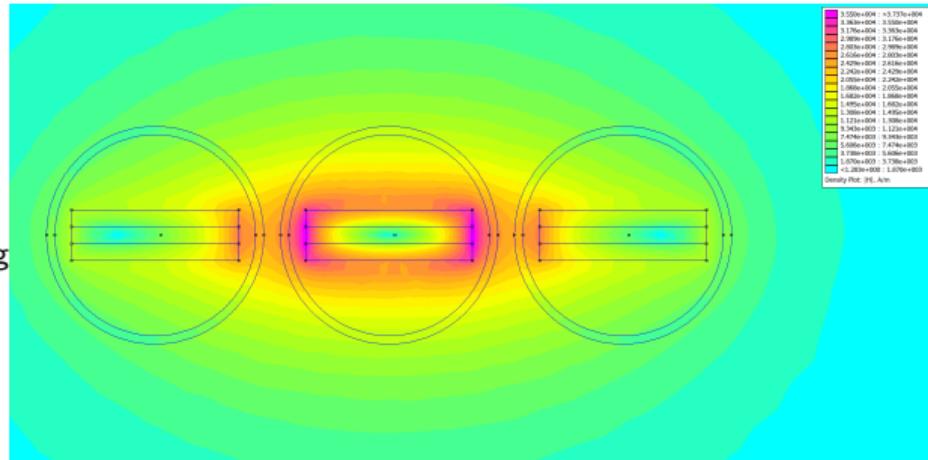
## Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Starke Magnetfelder der Nachbarleiter koppeln ein

## Wirkung: Partielle Sättigung

- ▶ Nutzfluss + Störfluss  $\Rightarrow$  lokale Sättigung
- ▶  $\mu_r$  sinkt  $\Rightarrow$  Magnetisierungsanteil steigt

**Resultat: Sekundärstrom sinkt  $\Rightarrow$**   
**Messung zeigt zu wenig an.**



Simulation: Feldstärkeverteilung  $|H|$  bei 2500 A — mittlere Phase (L2) wird von beiden Nachbarphasen überlagert.

## Wichtig / Note 1

- Fremdfeld koppelt ein
- lokale Sättigung
- Sekundärstrom sinkt

Zeitplanung

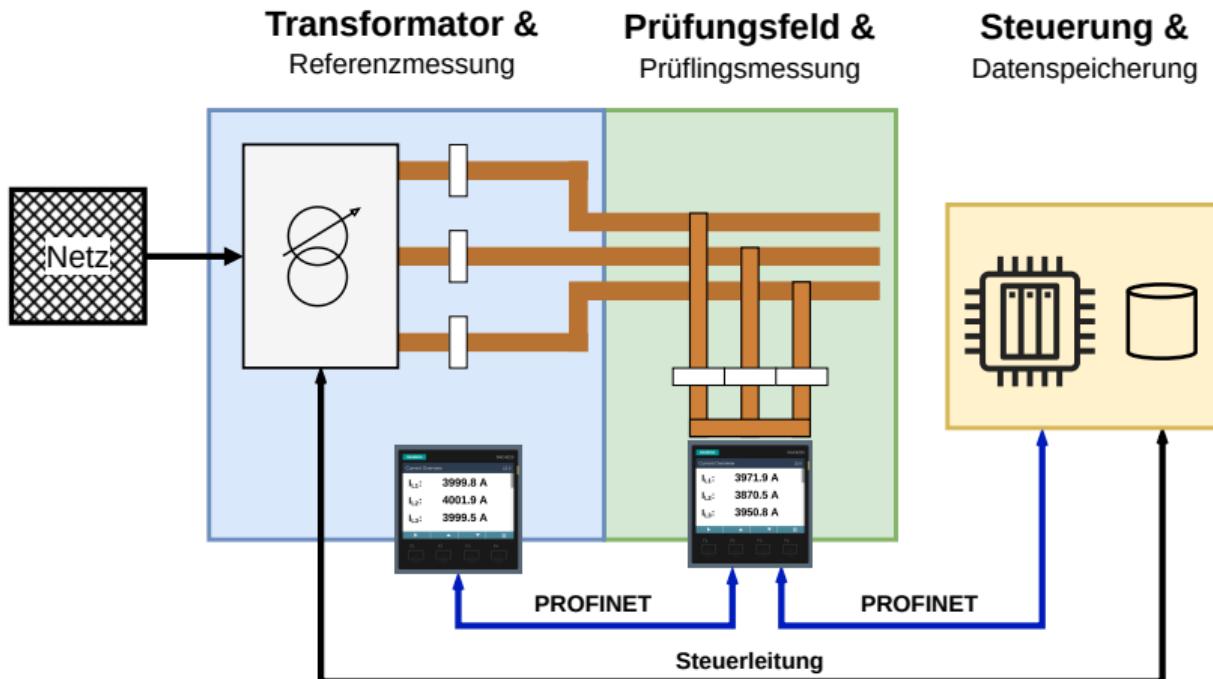
07:15

bis

08:00

- 
- **Einkopplung:** Magnetfelder benachbarter Leiter koppeln in den Kern ein (Worst Case: L2).
  - **Mechanismus:** Nutzfluss + Störfluss  $\Rightarrow$  lokale/partielle **Sättigung**,  $\mu_r \downarrow$ .
  - **Folge:** Magnetisierungsanteil steigt  $\Rightarrow$  Sekundärstrom sinkt  $\Rightarrow$  Anzeige **zu klein**.

# Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand



## Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

08:00

bis

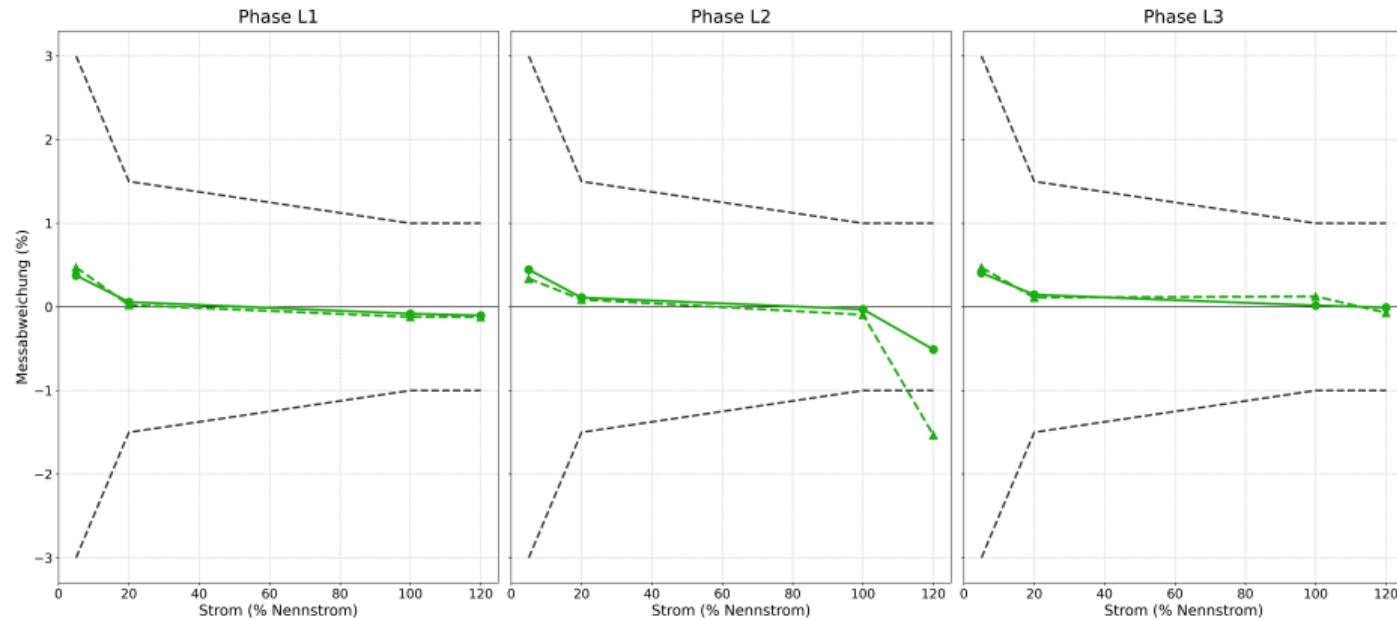
08:50

- 
- **Ziel:** Reproduzierbare, **synchrone** Vergleichsmessung (gleicher Strom, gleiche Bedingungen).
  - **Messkette:** Referenz (PAC 4220) vs. Prüfling (PAC 3220 + Wandler)  $\Rightarrow$  direkte Abweichung  $\varepsilon$  gegen **Klasse 1**.
  - **Automatisierung:** SPS/WinCC steuert Stromstufen und Haltezeiten  $\Rightarrow$  Einbrüche sind **physikalisch** (Sättigung), kein Messartefakt.

# Redur 13A1030.ffp (FFP)



Fremdfeld-Protektoren Redur bei 2000 A (Klasse 1.)



■ Redur 13A1030.3ffp | FFP   ■ Redur 13A1030.3ffp | FFP (Dreieck)

## Wichtig / Note 1

Zeitplanung

09:35

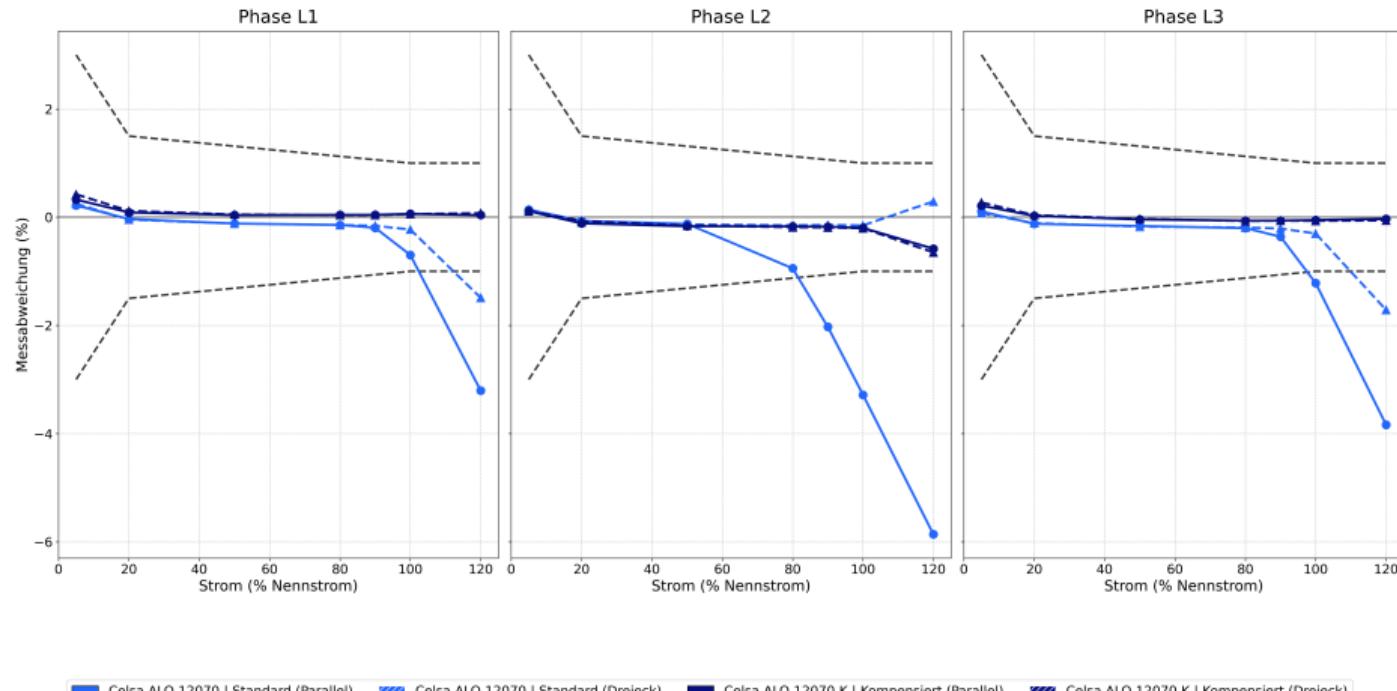
bis

11:00

- Referenzmessung im weitgehend linearen Bereich (2000 A)
- Parallel: durch seitliche FFP in allen Phasen normkonform (Klasse 1)
- Dreieck: Ausreißer bei L2 / 120 %  $I_n$  (ca.  $\varepsilon = -1,50\%$ ) → außerhalb Klasse 1
- Interpretation: ungeschirmte Rückseite → Feld-Einkopplung  
benachbarter Leiter, partielle Kernsättigung
- 2000 A = **Referenz (linear)**: Abweichungen nahe 0 %.
- **Parallel:** seitliche **FFP** ⇒ normkonform (Klasse 1) in allen Phasen.
- **Dreieck: L2** bei 120 %  $I_n$  ca.  $\varepsilon \approx -1,50\%$  ⇒ außerhalb Klasse 1.
- **Interpretation:** ungeschirmte Rückseite → Fremdfeld-Einkopplung → partielle Kernsättigung.
- **Überleitung:** Bei 4000 A wird der Sättigungseffekt dominant.

# Standard (Dreieck) vs. Kompensiert

Genaugkeitsmessung bei 4000 A (Klasse 1.0)



## Wichtig / Note 1

- Fokus: **Standard in Dreieck** vs. **kompensierter Wandler**
- Standard (Dreieck): bis ca. 80–100 % relativ stabil, am oberen Lastpunkt deutliche Abweichungen (teils außerhalb Klasse 1)
- Kompensiert: in allen Phasen deutlich näher an 0 % → Sättigungs-/Fremdfeldeinfluss stark reduziert

## Zeitplanung

11:00

bis

12:15

- Kernaussage: **Kompensation** ist bei 4000 A wirksamer als **Blinkführung**; hellblau = ungestrichelt = **Standard (Dreieck)**, dunkelblau = **kompensiert**.
- **Standard (Dreieck)**: bis ca. 80–100 % stabil, am oberen Lastpunkt Ausreißer ⇒ Klasse 1 nicht durchgängig.
- **Kompensiert**: Abweichungen nahe 0 % ⇒ Fremdfeld-/Sättigungseinfluss stark reduziert.
- **Take-away**: Bei 4000 A ist **Kompensation** der dominante Hebel; Geometrie ist sekundär.

# 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.*

## Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

16:50

bis

17:30

Alle Ansätze reduzieren die L2-Verzerrung, aber mit unterschiedlichem Einsatzfokus:

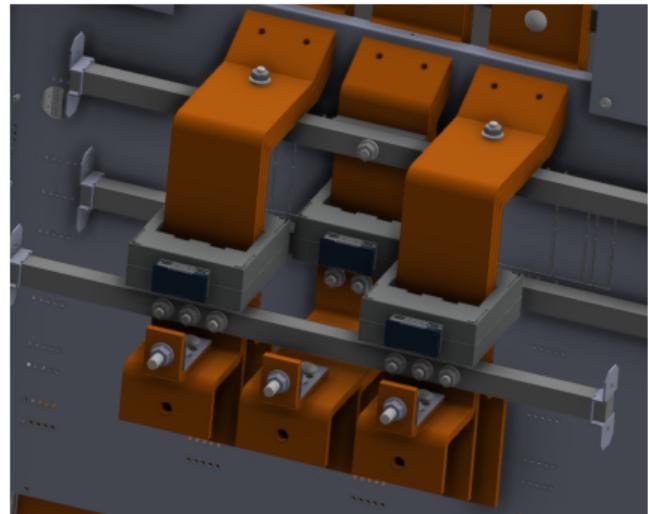
**Kompensiert** = beste Genauigkeit, teuer (Faktor 2–6). **FFP** = gut für Nachrüstung/Bestand (Ausrichtung/Bauraum beachten). **Dreieck** = Systemlösung für Neuentwicklung: Normrobust im Nennbereich bei geringen Mehrkosten.

# Customer Win (Rolf Janssen): Standardwandler + Dreiecksanordnung



≈ 1000 € **Einsparung**  
pro dreiphasigem Feld

**Normkonforme Messungen**  
im Nennbereich (80–100 % Last) trotz Fremdfeld



Realisierung der Dreiecksanordnung (Leiterführung)

## Wichtig / Note 1

- $\approx 1000 \text{ €}$  weniger pro Feld
- Normkonform im Nennbereich (80–100 %) trotz Fremdfeld

Zeitplanung

17:30

bis

18:00

---

Hintergrundzahl: Standard 210 € vs. kompensiert 1205,73 €  $\Rightarrow \approx 1000 \text{ €}$  pro dreiphasigem Feld. Mehrwert: im Nennbereich (80–100 %) normkonform trotz Fremdfeld (v. a. L2 stabil). Voraussetzung: Leiterführung im Bauraum umsetzbar.

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

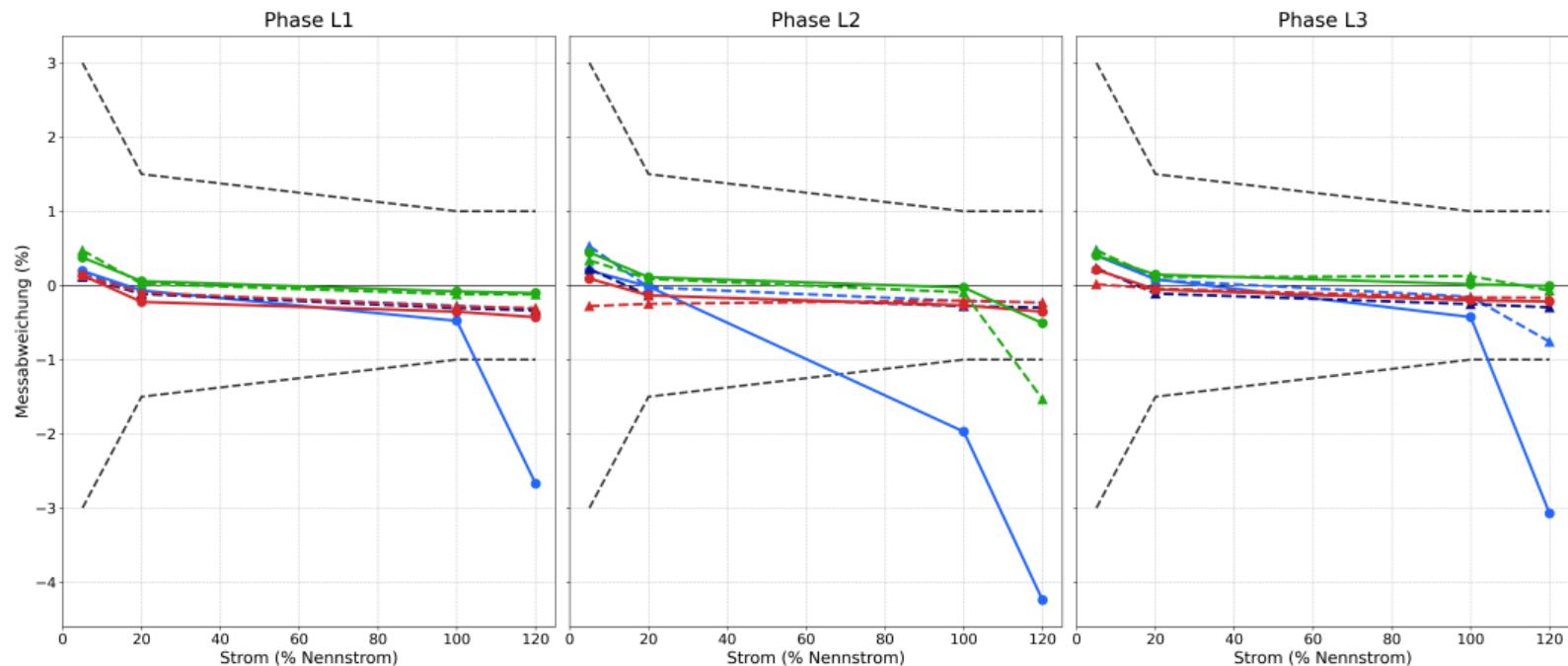
Ich stehe nun gerne für Ihre Fragen zur Verfügung.

# Anhang

# Anhang: Zusammenfassung 2000 A



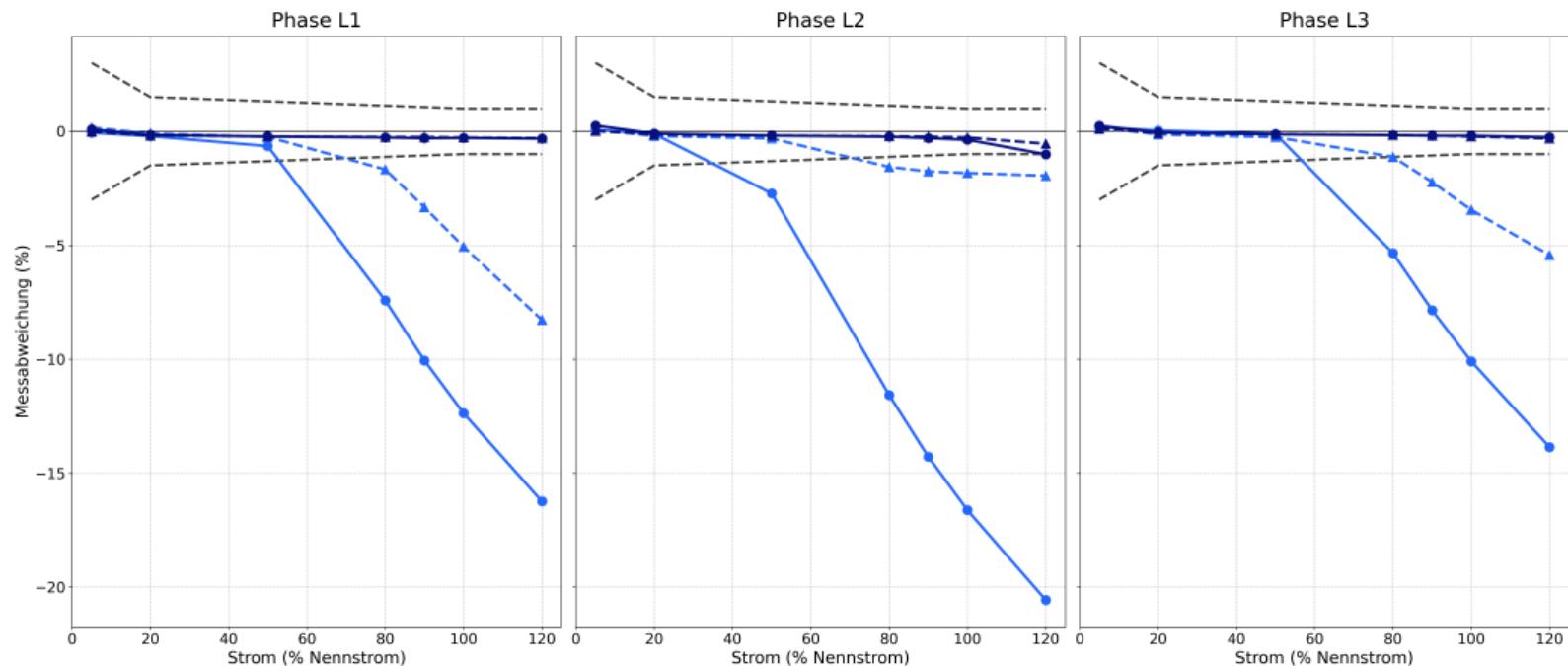
Genaugkeitsmessung bei 2000 A (Klasse 1.0)



# Anhang: Zusammenfassung 2500 A



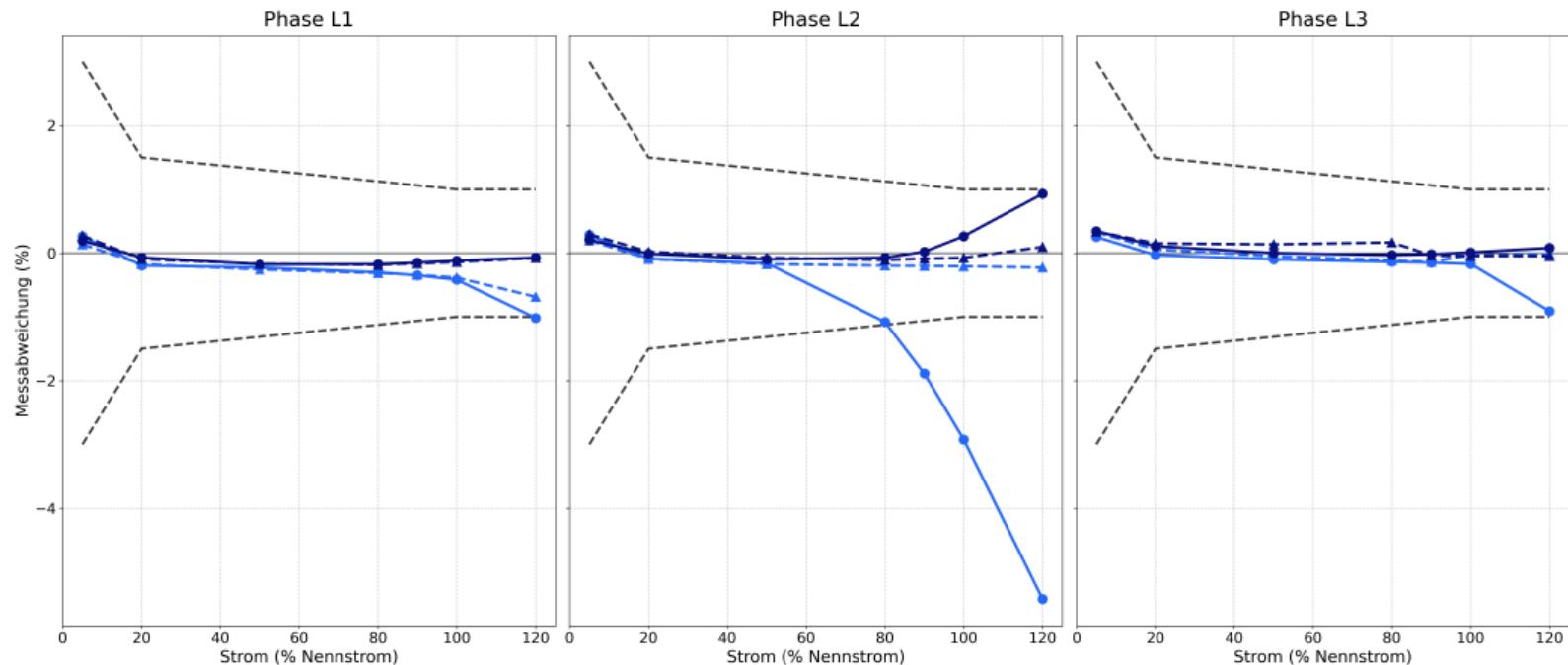
Genaugkeitsmessung bei 2500 A (Klasse 1.0)



# Anhang: Zusammenfassung 3000 A



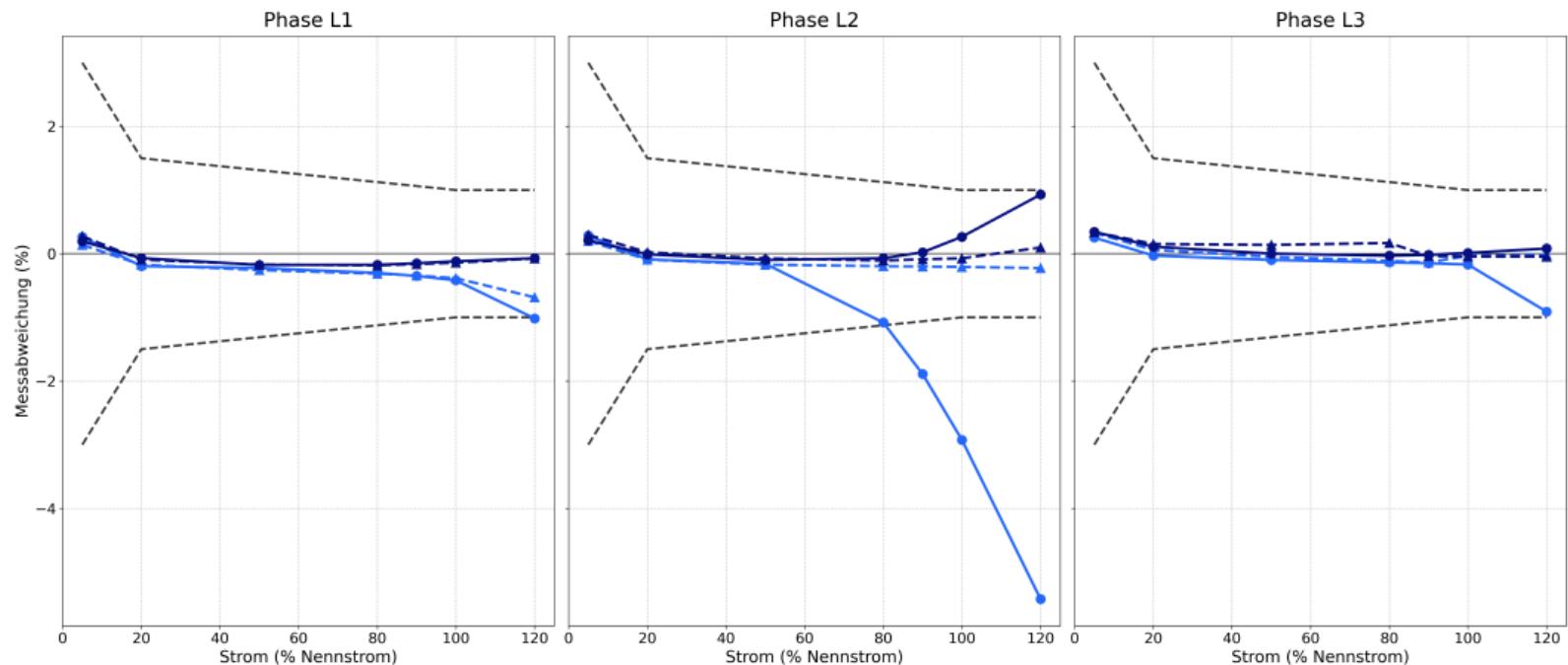
Genaugkeitsmessung bei 3000 A (Klasse 1.0)



# Anhang: Zusammenfassung 3000 A Bürde



Genaugkeitsmessung bei 3000 A (Klasse 1.0)



# Anhang: Zusammenfassung 4000 A



Genaugkeitsmessung bei 4000 A (Klasse 1.0)

